



TUGAS AKHIR - TM 141585

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI  
TEMPERATUR BAHAN BAKAR TERHADAP  
PENYALAAN AWAL DAN UNJUK KERJA SERTA  
EMISI MOTOR HONDA CB150R BERBAHAN  
BAKAR BIOETANOL E100**

NICKY PRAYOGA  
NRP 21 14 105 051

Dosen Pembimbing  
Dr. Bambang Sudarmanta, ST., MT.

JURUSAN TEKNIK MESIN  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



Tugas Akhir - TM 141585

***STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI  
TEMPERATUR BAHAN BAKAR TERHADAP  
PENYALAAN AWAL DAN UNJUK KERJA SERTA  
EMISI MOTOR HONDA CB150R BERBAHAN BAKAR  
BIOETANOL E100***

NICKY PRAYOGA  
NRP : 2114105051

Dosen Pembimbing  
Dr. Bambang Sudarmanta, ST., MT.

JURUSAN TEKNIK MESIN  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



Final Project - TM 141585

***EXPERIMENTAL STUDY ON THE EFFECT OF  
VARIATION OF TEMPERATURE ON FUEL  
STARTUP, PERFORMANCE AND EMISSION BY  
HONDA MOTOR CB150R WITH BIOETHANOL FUEL  
(E100)***

NICKY PRAYOGA  
NRP : 2114105051

Academic Supervisor  
Dr. Bambang Sudarmanta, ST., MT.

JURUSAN TEKNIK MESIN  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH  
VARIASI TEMPERATUR BAHAN BAKAR TERHADAP  
PENYALAAN AWAL DAN UNJUK KERJA SERTA  
EMISI MOTOR HONDA CB150R BERBAHAN BAKAR  
BIOETANOL E100**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**NICKY PRAYOGA**

NRP. 2114 105 051

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Bambang Sudarmanta, ST, MT ..... (Pembimbing)  
NIP. 197301161997021001
2. Dr. Ir. Atok Setiawan, M.Eng.Sc ..... (Penguji I)  
NIP. 196604021989031002
3. Ary Bachtiar K.P., ST, MT, PhD. ..... (Penguji II)  
NIP. 197105241997021001
4. Bb. Arip Dwiyantoro, ST, M.Eng. ..... (Penguji III)  
PhD.  
NIP. 197804012002121001



**SURABAYA** JURUSAN  
TEKNIK MESIN

**JANUARI, 2017**

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI  
TEMPERATUR BAHAN BAKAR TERHADAP  
PENYALAAAN AWAL DAN UNJUK KERJA SERTA  
EMISI MOTOR HONDA CB150R BERBAHAN BAKAR  
BIOETANOL E100**

**Nama Mahasiswa** : Nicky Prayoga  
**NRP** : 2114 105 051  
**Jurusan** : Teknik Mesin  
**Pembimbing** : Dr. Bambang Sudarmanta, ST., MT.

**Abstrak**

*Bioetanol merupakan bahan bakar nabati yang diformulasikan untuk kendaraan bermotor. Beberapa keuntungan dari pemanfaatan bioetanol sebagai bahan bakar alternatif pada mesin pembakaran dalam karena menghasilkan polutan yang rendah dan memiliki nilai oktan tinggi. Salah satu properties bioetanol yang menyebabkan sulitnya penyalaaan awal adalah panas penguapan dari bioetanol yang nilainya tiga kali dari pertamax, yaitu sebesar 904 [kJ/kg], sehingga memerlukan perlakuan pemanasan awal untuk mempermudah proses penyalaaan awal. Berkaitan dengan hal tersebut, penelitian ini dilakukan dengan memberikan pemanasan pada bahan bakar sebelum injektor sehingga akan memudahkan bahan bakar mengalami penguapan dan mampu menaikkan daya.*

*Penelitian ini difokuskan pada mesin Honda CB150R dengan sistem pemasukan bahan bakar port injection dengan variasi pada temperatur bahan bakar sebelum masuk injektor. Mekanisme pemanasan yang dilakukan adalah memanaskan bahan bakar dalam suatu penampung dengan daya sebesar 50 watt menggunakan pemanas induksi elektromagnetik. Suhu bahan bakar keluar penampung (sebelum masuk njektor) divariasikan sebesar (60, 70, dan 80)°C menggunakan sistem kontrol termo switch. Kemudahan penyalaaan awal diukur berdasarkan jumlah*

*kick start period yang dibutuhkan untuk menghidupkan engine dan waktu pemanasan. Pengujian unjuk kerja dan emisi engine dilakukan menggunakan chassis waterbrake dynamometer. Parameter yang diukur meliputi putaran engine, torsi,  $\dot{m}$  bahan bakar,  $\dot{m}$  udara, emisi (CO dan HC), dan suhu operasional (engine, oli pelumas, dan exhaust).*

*Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan sistem pemanasan menggunakan daya 50 watt mampu menghasilkan pemanasan sampai suhu 80° C dalam waktu 16,5 detik dan membutuhkan 1 kick start period untuk menyalakan engine saat kondisi penyalaan dingin. Dari pengukuran unjuk kerja menunjukkan bahwa pada variasi pemanasan bioetanol 60° C nilai dari torsi, daya efektif, bmep mengalami kenaikan sampai variasi pemanasan bioetanol 70° C kemudian mengalami penurunan pada variasi pemanasan 80° C. Didapatkan bahwa nilai torsi, daya efektif, dan bmep terbaik adalah pada pemanasan bioetanol 70° C. Sfc mengalami penurunan sebesar 4,76 %, 6,23 % dan 5,76 % pada variasi pemanasan (60, 70 dan 80)° C , sedangkan efisiensi thermis mengalami kenaikan sebesar 0,017 %, 0,023 % dan 0,021 % pada 4000 rpm. Untuk nilai AFR pada variasi pemanasan (60,70 dan 80)° C adalah semakin naik mendekati nilai AFR stoikiometri. Hasil emisi pada CO mengalami penurunan dengan nilai rata-rata sebesar 1,51 %, 1,48 %, 1,45 %, sedangkan emisi pada HC mengalami penurunan dengan nilai rata rata sebesar 73,28 ppm, 71,85 ppm, dan 71 ppm dengan variasi temperatur (60,70 dan 80)° C.(nilai dibandingkan dengan kondisi programable)*

***Kata kunci: Bioetanol, pemanasan, pemanas, Honda CB150R***

**EXPERIMENTAL STUDY ON THE EFFECT OF  
VARIATION OF TEMPERATURE ON FUEL  
STARTUP, PERFORMANCE AND EMISSION  
BY HONDA MOTOR CB150R  
WITH BIOETHANOL FUEL (E100)**

**Name** : Nicky Prayoga  
**NRP** : 2114 105 051  
**Major** : Mechanical Engineering FTI-ITS  
**Academic Supervisor** : Dr. Bambang Sudarmanta, ST., MT.

***Abstract***

*Bioethanol is a biofuel that is formulated for motor vehicles. Some of the advantages of the use of bioethanol as an alternative fuel in an internal combustion engine because it produces low pollutant and has a high octane rating. One of the properties of bioethanol which causes difficulty startup is the heat of vaporization of ethanol is worth three times the pertamax, amounting to 904 [kJ / kg], so that require treatment preheating to facilitate startup. In this regard, this research is done by providing the heating fuel before the injector that will allow the fuel to evaporation and is able to power up.*

*This study focused on CB150R Honda engine fuel system with entry port injection with variations in the temperature of the fuel before entering the injector. A heating mechanism to do is heat the fuel in a container with a power of 50 watts using electromagnetic induction heating. The temperature of the fuel out of the container (before entering njektor) to vary the amount of (60, 70, and 80) ° C using a thermo switch control system. Ease startup is measured by the number of kick start period is needed to turn on the engine and the heating time. The test engine performance and emissions are conducted using waterbrake chassis dynamometer. The measured parameters include engine*

*speed, torque, fuel `m, m` air, emissions (CO and HC), and the operating temperature (engine, lubricating oil, and exhaust). The results showed that the heating system uses 50 watts of power capable of producing heating to a temperature of 80 ° C in a time of 16.5 seconds and requires 1 kick-start period to ignite the engine when the ignition cold conditions. From measuring the performance showed that the variation of heating bioethanol 60 ° C the value of torque, effective power, BMEP to increase until the variation of heating bioethanol 70 ° C and then decreased to the variation of heating to 80 ° C. It was found that the value of torque, effective power, and BMEP best is on bioethanol heating to 70 ° C. Sfc decreased by 4.76%, 6.23% and 5.76% on the variation of the heating (60, 70 and 80) ° C, while the thermal efficiency increased by 0,017%, 0,023 % and 0.021% at 4000 rpm. For AFR values in the variation of heating (60,70 and 80) ° C is getting up close to stoichiometric AFR value. The results of the CO emissions decreased by an average value of 1.51%, 1.48%, 1.45%, whereas the HC emissions decreased by an average value of 73.28 ppm, 71.85 ppm, and 71 ppm with temperature variation (60,70 and 80) ° C. (value in comparison with the programable condition)*

***Keywords: Bioethanol, heating, heater, Honda CB150R***



## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penyusunan laporan tugas akhir yang berjudul : ***“STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI TEMPERATUR BAHAN BAKAR TERHADAP PENYALAAN AWAL DAN UNJUK KERJA SERTA EMISI MOTOR HONDA CB150R BERBAHAN BAKAR BIOETANOL E100”*** ini dapat diselesaikan dengan baik.

Tugas akhir ini merupakan salah satu persyaratan yang harus dipenuhi oleh setiap mahasiswa Program Studi S1 Teknik Mesin FTI-ITS untuk bisa dinyatakan lulus. Dalam rangka tersebut maka disusunlah tugas akhir ini. Selain itu, tugas akhir ini juga merupakan suatu bukti yang dapat diberikan kepada almamater dan masyarakat untuk kehidupan sehari-hari.

Banyak pihak yang telah membantu sampai selesainya tugas akhir ini oleh karena itu pada kesempatan ini disampaikan terima kasih kepada :

1. Dr. Bambang Sudarmanta, ST., MT. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan bimbingan kepada penulis sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan serta selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin FTI – ITS.
2. Ir Bambang Pramujati, M.Sc.Eng., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin.
3. Suwarno, ST., M.Sc., Ph.D. selaku Koordinator Tugas Akhir.
4. Tim Dosen penguji yang telah bersedia meluangkan waktu, tenaga, pikiran dalam rangka perbaikan tugas akhir ini.
5. Ibu dan ayah tercinta beserta keluarga yang telah mendukung. Bapak dan ibu dosen serta seluruh karyawan Program Studi S1 Teknik Mesin FTI – ITS yang telah banyak membantu selama perkuliahan.
6. Seluruh teman-teman Lab TPBB Teknik Mesin FTI - ITS.

7. Semua pihak yang namanya tidak tercantum di atas yang banyak - banyak membantu kelancaran penyelesaian tugas akhir ini.

Kekurangan atau ketidaksempurnaan tentu masih ada namun bukan sesuatu yang disengaja, hal tersebut semata-mata disebabkan karena ketidaksengajaan. Oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi kesempurnaan tugas akhir ini.

Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi pembaca, terima kasih.

Surabaya, Januari 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	iii
<b>ABSTRAK</b>	iv
<b>ABSTRACT</b>	vi
<b>KATA PENGANTAR</b>	viii
<b>DAFTAR ISI</b>	x
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	xiii
<b>DAFTAR TABEL</b>	xv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	1
1.1 latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	5
2.1 Teori Dasar Motor Bensin	5
2.1.1 Prinsip Dasar Motor Bensin 4-langkah	5
2.1.2 Tahapan Pembakaran <i>Engine</i> Bensin 4 Langkah ( <i>Spark Ignition Engine</i> )	6
2.1.2.1 <i>Ignition Lag</i>	7
2.1.2.2 <i>Propagation of flame</i>	7
2.1.3 <i>Valve Timing</i> Mesin 4 Langkah	8
2.2 Sistem Injeksi Bahan Bakar	9
2.3 Waktu Pengapian	10
2.4 <i>Electronic Control Unit (ECU)</i>	11
2.5 Perbandingan Udara dan Bahan Bakar	12
2.5.1 Pembakaran Stoikiometri	12
2.5.2 Pembakaran <i>Non</i> Stoikiometri	14
2.6 Bahan Bakar	14
2.6.1 Perbandingan Karakteristik Bahan Bakar Gasoline dan Bioetanol E100	16
2.7 Parameter Unjuk Kerja <i>Engine</i>	17
2.7.1 Torsi	18

2.7.2 Daya (Brake Horse Power)	18
2.7.3 Tekanan Efektif Rata-rata ( <i>Brake Mean Effective Pressure</i> )	19
2.7.4 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik ( <i>Specific Fuel Consumption</i> )	20
2.7.5 Efisiensi Thermal	21
2.8 Polusi Udara	22
2.8.1 Hidrokarbon (HC)	23
2.8.2 Karbon Monoksida (CO)	24
2.8.3 Sox	25
2.8.4 NOx	25
2.9 Penelitian Terdahulu	25
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	31
3.1 Peralatan Uji	31
3.1.1 Engine Test	31
3.1.2 <i>Elektromagnetic Induction Heater</i>	33
3.1.3 Alat Ukur	34
3.2 Bahan Bakar	34
3.2.1 Bahan bakar pertamax	34
3.2.2 Bahan bakar bioetanol	34
3.3 Prosedur Pengujian	34
3.3.1 Skema Peralatan Uji	34
3.3.2 Tahapan Pengujian	36
3.3.2.2 Persiapan Pengujian	36
3.3.2.2 Pengujian engine dengan menggunakan ECU standar berbahan bakar Pertamina (0% etanol)	37
3.3.2.3 Pengujian <i>Engine</i> dengan Menggunakan ECU Standar dengan ECU <i>programable</i> Berbahan Bakar Bioetanol E100	37
3.4 Rancangan Eksperimen	39
3.5 <i>Flowchart</i> Penelitian	41
<b>BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN</b>	43
4.1 Penyetelan Alat Sistem Pemanas	43
4.2 Perhitungan	43

4.2.1 Perhitungan Torsi .....	43
4.2.2 Perhitungan Daya .....	44
4.2.3 Perhitungan Tekanan Efektif Rata-rata (Bmep) .....	44
4.2.4 Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC) .....	45
4.2.5 Perhitungan Effisiensi Thermal ( $\eta_{th}$ ) .....	45
4.3 Kemudahan Penyalan Awal .....	46
4.4 Analisa Torsi .....	48
4.5 Analisa Daya Efektif .....	50
4.6 Analisa Tekanan Efektif Rata-rata .....	51
4.7 Analisa Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (sfc) .....	52
4.8 Analisa Efisiensi Thermal ( $\eta_{th}$ ) .....	54
4.9 Analisa Air Fuel Ratio .....	55
4.10 Analisa Emisi Gas Buang .....	57
4.10.1 Emisi CO .....	57
4.10.2 Emisi HC .....	58
4.11 Analisa Temperatur Oli .....	59
4.12 Analisa Temperatur <i>Engine</i> .....	60
4.13 Analisa Temperatur <i>Exhaust</i> .....	61
<b>BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	63
5.1 Kesimpulan .....	63
5.2 Saran .....	63
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	65
<b>LAMPIRAN</b> .....	67

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Tahap pembakaran Mesin Bensin .....	5
<b>Gambar 2.2</b>	Tahapan pembakaran dalam .....	7
<b>Gambar 2.3</b>	<i>Valve timing</i> diagram mesin 4 langkah .....	9
<b>Gambar 2.4</b>	Skema sistem injeksi secara umum .....	10
<b>Gambar 2.5</b>	Skema sistem pengapian secara umum .....	10
<b>Gambar 2.6</b>	<i>Waterbrake dynamometer</i> .....	18
<b>Gambar 2.7</b>	Gaya yang bekerja pada piston .....	19
<b>Gambar 2.8</b>	Mekanisme terbentuknya polutan HC, CO dan NOx pada SIE .....	22
<b>Gambar 2.9</b>	Emisi gas buang versus air-fuel ratio pada SIE .....	23
<b>Gambar 2.10</b>	Waktu kenaikan suhu etanol dan dinding injektor terhadap fungsi waktu untuk laju pemanasan 100 W e dan $T_h = 300 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot ^\circ \text{C}$ .....	26
<b>Gambar 2.11</b>	Grafik perbandingan daya pemanasan pada injektor .....	27
<b>Gambar 2.12</b>	Grafik perbandingan daya terhadap putaran mesin .....	28
<b>Gambar 2.13</b>	Grafik perbandingan konsumsi bahan bakar spesifik terhadap putaran mesin .....	28
<b>Gambar 2.14</b>	<i>Effect of the fuel temperature on the density</i> .....	29
<b>Gambar 3.1</b>	Motor Honda CB150R .....	31
<b>Gambar 3.2</b>	Sistem <i>induction heater</i> .....	33
<b>Gambar 3.3</b>	Skema proses pengujian motor Honda CB150R .....	35
<b>Gambar 3.4</b>	Skema alat uji motor Honda CB150R .....	35
<b>Gambar 4.1</b>	Grafik Waktu fungsi Temperatur Bioetanol Saat Penyalaan Awal .....	46
<b>Gambar 4.2</b>	Grafik waktu fungsi Temperatur Bioetanol Saat Pengujian Performa .....	47
<b>Gambar 4.3</b>	Grafik <i>kick start period</i> fungsi Temperatur Bioetanol .....	47

<b>Gambar 4.4</b>	Grafik Torsi fungsi Putaran <i>Engine</i> .....	49
<b>Gambar 4.5</b>	Grafik Daya Efektif fungsi Putaran <i>Engine</i> .....	50
<b>Gambar 4.6</b>	Grafik Bmep fungsi Putaran <i>Engine</i> .....	52
<b>Gambar 4.7</b>	Grafik sfc fungsi Putaran <i>Engine</i> .....	53
<b>Gambar 4.8</b>	Grafik Efisiensi Termal fungsi Putaran <i>Engine</i> .....	55
<b>Gambar 4.9</b>	Grafik AFR fungsi Putaran <i>Engine</i> .....	56
<b>Gambar 4.10</b>	Grafik Emisi CO fungsi Putaran <i>Engine</i> .....	57
<b>Gambar 4.11</b>	Grafik Emisi HC fungsi Putaran <i>Engine</i> .....	59
<b>Gambar 4.12</b>	Grafik Temperatur oli fungsi Putaran <i>Engine</i> .....	59
<b>Gambar 4.13</b>	Grafik Temperatur <i>engine</i> fungsi Putaran <i>Engine</i> .....	60
<b>Gambar 4.14</b>	Grafik Temperatur <i>Exhaust</i> fungsi Putaran <i>Engine</i> .....	61

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	Tabel Pemetaan Durasi Bahan Bakar dan Waktu Pengapian .....	12
<b>Tabel 2.2</b>	Tabel Karakteristik Bahan Bakar Gasoline dan Bioetanol E100 .....	17
<b>Tabel 3.1</b>	Rancangan Penelitian .....	39



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Jumlah populasi kendaraan bermotor yang terus bertambah setiap tahunnya mengakibatkan konsumsi serta harga bahan bakar minyak meningkat, sedangkan ketersediaannya semakin berkurang. Menurut catatan [11] bahwa Ketergantungan terhadap energi fosil terutama minyak bumi dalam pemenuhan konsumsi di Indonesia masih tinggi yaitu sebesar 96% (minyak bumi 48%, gas 18% dan batubara 30%) dari total konsumsi dan upaya untuk memaksimalkan pemanfaatan energi terbarukan belum dapat berjalan sebagaimana yang direncanakan. Di sisi lain masih banyak bahan bakar alternatif yang belum dimanfaatkan secara optimal. Salah satu upaya untuk mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi minyak bumi sekaligus meminimalisir emisi gas buang yang sangat berbahaya bagi lingkungan adalah dengan menggunakan bahan bakar natural. Emisi gas buang hasil pembakaran kendaraan bermotor yang berupa karbondioksida (CO<sub>2</sub>), karbonmonoksida (CO), Oksida Nitrogen (NO<sub>x</sub>), hidrokarbon yang tidak terbakar, serta unsur metalik seperti timbal (Pb) akan menyebabkan polusi udara yang berdampak pada kesehatan [5].

Untuk mengurangi emisi gas buang dapat dilakukan dengan salah satunya mengembangkan teknologi *fuel injection* (FI) pada kendaraan bermotor. Penggunaan bioetanol merupakan bentuk aktualisasi kami untuk berinovasi dalam memenuhi kebutuhan energi masyarakat sehingga mampu memberikan manfaat yang optimal sebagai bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan. Kandungan oksigen di dalam bioetanol adalah sekitar 35% [4]. Sebagai bahan bakar beroksigenat, mempunyai banyak keuntungan dalam emisi yang dihasilkan. Senyawa oksigenat yang mempunyai keunggulan angka oktan tinggi [3] membuat bioetanol digunakan sebagai aditif bahan bakar bensin, ditambah dengan adanya unsur O dalam ikatan kimianya akan berpengaruh

pada penurunan emisi gas buang dan tentunya merupakan bahan bakar dapat diperbaharui.

Berdasarkan penelitian Gayuh dan Reno (2016), kesulitan dalam penyalaan awal merupakan masalah yang timbul. Untuk mengatasi masalah tersebut mereka menggunakan 2 tangki yang berisi pertamax dan bioetanol. Dimana mesin dihidupkan dengan bahan bakar pertamax terlebih dahulu kemudian perlahan-lahan diganti dengan bioetanol. Berdasarkan penelitian Rezendel dan Moreira (2012), kesulitan penyalaan awal diatasi dengan membuat pemanas induksi elektromagnetik di *nozle injector*. Bahan bakar yang masuk ke injektor mengalami pemanasan sehingga saat keluar dari *nozle* tingkat keadaan bahan bakar bertemperatur tinggi yang mampu memudahkan dalam penyalaan awal.

Menurut Jeuland [6] untuk etanol murni memiliki *volalitas* moderat dan titik didih yang tinggi yaitu 78° C (1 bar) yang mengindikasikan kesulitan penguapan di kondisi lingkungan yang cenderung dingin. Bioetanol memiliki panas laten yang sangat tinggi dari penguapan ( 3 kali lebih tinggi dari bensin ). Properti ini mengindikasikan kesulitan *driveability* yaitu kebutuhan banyak energi untuk penguapan bahan bakar dalam kondisi dingin. Untuk menguapkan Bioetanol diperlukan sebuah pemanas untuk memanaskan bahan bakar. Pada mesin Honda CB150R yang digunakan dalam penelitian ini, ditambahkan penggunaan pemanas induksi elektromagnetik saat penyalaan awal dimana temperatur bahan bakar masukan injektor dipanaskan dengan suhu pemanas yang divariasikan dalam temperatur tertentu. Pada eksperimen ini digunakan bahan bakar bioetanol E100 dengan kemurnian 99,6 %. Dengan dilakukannya eksperimen ini diharapkan akan memperoleh temperatur bahan bakar masukan injektor yang paling baik sehingga mudah dalam penyalaan awal dan menghasilkan daya serta unjuk kerja mesin yang paling optimal.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berbagai penelitian masih terus dilakukan untuk mengatasi kekurangan penggunaan Bioetanol sebagai bahan bakar alternatif. Sehubungan dengan penelitian tersebut, maka permasalahan yang ingin dicari pemecahannya adalah :

1. Bagaimana merancang mekanisme pemanas pada alat masukan injektor sehingga bisa diatur dalam beberapa variasi temperatur?
2. Bagaimana respon mesin Honda CB150R saat penyalaan awal?
3. Bagaimana unjuk kerja mesin Honda CB150R ber-rasio kompresi 12,5 dengan penambahan variasi temperatur dan emisinya?

## 1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini menggunakan motor Honda CB150R berbahan bakar bioetanol E100. Dengan menggunakan bahan bakar bioetanol E100 yang mempunyai nilai oktan lebih tinggi dan titik didih yang tinggi serta panas laten yang tinggi juga, maka harus memodifikasi *engine* yaitu salah satunya adalah dengan menambah pemanas pada alat masukan injektor. Digunakan beberapa batasan masalah agar dapat memperjelas ruang lingkup penelitian. Beberapa batasan tersebut adalah :

1. *Engine* yang digunakan adalah Honda CB150R dalam kondisi dimodifikasi ber-rasio kompresi 12,5 dan menggunakan ECU *programable*.
2. Bahan bakar yang digunakan yaitu bioetanol E100 dengan konsentrasi 99,6%.
3. Parameter yang diubah adalah variasi temperatur bahan bakar masukan injektor.
4. Pengujian unjuk kerja *engine* menggunakan alat *Waterbrake Dynamometer* dengan metode Fully Open Throttle di Laboratorium Teknik Pembakaran dan Bahan Bakar, Teknik Mesin ITS.

5. Untuk penyalaan awal putaran *engine* dianalisa pada putaran 0 hingga *engine* mampu menyala. Sedangkan untuk unjuk kerja putaran *engine* dianalisa pada putaran 2000 hingga 8000 rpm.
6. Pengujian dilakukan pada suhu ruangan (  $20^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}$  ) .
7. Hasil data yang diharapkan terdiri dari daya, torsi, bmep, *sfc*, *effisiensi thermal*, dan hasil uji emisi serta waktu penyalaan.
8. Tidak membahas mengenai pembuatan bioetanol serta reaksi kimia yang terjadi.
9. Tidak membahas mengenai perpindahan panas yang terjadi.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui mekanisme pemanas bioetanol pada alat sistem pemanas di masukan injektor, sehingga temperatur bisa diatur dalam beberapa variasi dengan sistem pemasukan bahan bakar secara injeksi.
2. Untuk mengetahui waktu saat penyalaan awal.
3. Untuk mengetahui unjuk kerja *engine* Honda CB150R dengan penambahan variasi temperatur pada bahan bakar masukan injektor dan emisinya.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan mampu memberikan sumbangsih terhadap perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi mengenai penggunaan bahan bakar Bioetanol pada motor bensin. Selain itu, mampu mengoptimalkan performa daya kendaraan berbahan bakar Bioetanol dan memudahkan dalam kondisi penyalaan dingin serta mengurangi emisi saat penyalaan dingin.

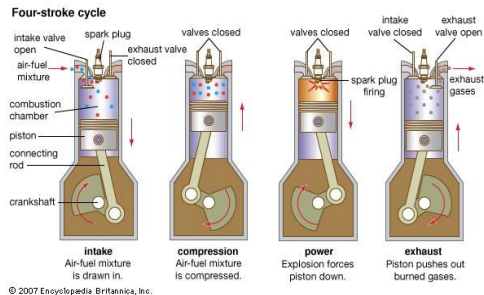
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Teori Dasar Motor Bensin

##### 2.1.1 Prinsip Dasar Motor Bensin 4-langkah

Dalam motor bensin 4-langkah, satu siklus kerja diselesaikan dalam empat langkah gerakan dari piston atau dua kali putaran dari crankshaft. Setiap langkah berisi  $180^\circ$  putaran crankshaft sehingga seluruh cycle menjadi  $720^\circ$  putaran crankshaft. Ada empat tahapan operasi dari siklus 4-langkah motor bensin. Diantaranya langkah hisap, langkah kompresi, langkah kerja, dan langkah buang. Seperti pada gambar 2.1 di bawah ini.



**Gambar 2.1** Tahap pembakaran Mesin Bensin

1. Langkah hisap (*intake*), piston bergerak dari TMA (titik mati atas) ke TMB (titik mati bawah) katup masuk membuka dan katup buang menutup, karena terjadi tekanan negatif didalam silinder sehingga udara yang telah bercampur dengan bahan bakar dapat masuk kedalam silinder melalui katup masuk sampai piston melewati TMB dan kemudian katup masuk tertutup.
2. Langkah kompresi (*compression*), piston bergerak dari TMB menuju TMA setelah melakukan langkah hisap, katup masuk

dan katup buang tertutup serta campuran udara dan bahan bakar dikompresikan hingga piston mencapai TMA.

3. Langkah usaha (*power*), sebelum akhir langkah kompresi, busi memercikkan bunga api listrik yang kemudian membakar campuran udara dan bahan bakar yang telah dikompresikan sebelumnya. Pada kondisi ini katup masuk dan katup buang masih dalam keadaan tertutup. Akibat dari tekanan tekanan pembakaran yang tinggi menyebabkan terdorongnya piston dari TMA ke TMB yang kemudian gerakan translasi piston tersebut diubah menjadi gerakan rotasi pada poros engkol dengan bantuan *connecting rod*.
4. Langkah buang (*exhaust*), setelah terjadi pembakaran, gaya inersia menggerakkan piston dari TMB menuju TMA, pada saat yang sama katup buang mulai terbuka sehingga gas sisa pembakaran terdorong keluar melalui katup buang menuju lubang pembuangan.

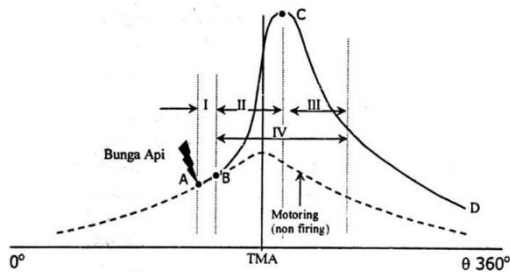
Keseluruhan proses diatas dapat terjadi apabila memenuhi beberapa kondisi berikut ini, yakni :

1. Cukup tersedianya campuran bahan bakar-udara yang dapat terbakar.
2. Tersedia pemantik bunga api yang mampu membakar campuran bahan bakar – udara.
3. Adanya rambatan nyala api yang cukup stabil sehingga mampu membakar campuran bahan bakar – udara.

### **2.1.2 Tahapan Pembakaran Engine Bensin 4 Langkah (*Spark Ignition Engine*)**

Pembakaran dapat dibayangkan sebagai dua tahapan seperti pada gambar 2.2, yaitu:

1. Tahap pertama adalah pertumbuhan dan perkembangan dari inti api (*Ignition Lag*).
2. Tahap kedua adalah penyebaran api ke seluruh ruang bakar, ini disebut *propagation of flame*.



**Gambar 2.2** Tahapan pembakaran dalam

### 2.1.2.1 Ignition Lag

Tahap pertama, disebut *ignition lag* merupakan fase persiapan yang mana terjadi pertumbuhan dan perkembangan dari inti api. Tahapan ini tergantung sepenuhnya pada sifat alami bahan bakar, seperti, temperatur, tekanan, sifat gas buang, dan laju percepatan oksidasi dalam ruang bakar. *Ignition lag* terjadi dari A-B pada saat kompresi berlangsung sehingga garis A-B disebut garis kompresi. Periode *ignition lag* kira-kira  $10^\circ$  sampai  $15^\circ$  derajat engkol dalam waktu  $\pm 0,0015$  detik. Perlu diketahui bahwa selama periode ini penyebaran api atau kecepatan api berjalan lambat dan fraksi campuran yang terbakar sangat sedikit, sehingga kenaikan tekanan hanya 1% dari tekanan pembakaran maksimum sesuai pembakaran sekitar 1, 5% dari campuran kerja, dan volume yang dipakai oleh produk pembakaran sekitar 5% dari ruang bakar yang tersedia. Durasi *ignition lag* tergantung pada faktor-faktor berikut:

1. Jenis dan kualitas bahan bakar
2. Rasio campuran bahan bakar dan udara
3. Temperatur dan tekanan awal
4. Celah elektroda busi
5. Turbulensi pembakaran di ruang bakar

### 2.1.2.2 Propagation of flame

Fase kedua pembakaran ini merupakan fase yang terpenting, karena dalam fase ini kecepatan api sangatlah tinggi karena

menentukan laju kenaikan temperatur dalam silinder. Durasi dari flame propagation tergantung pada faktor-faktor dibawah ini:

- Rasio bahan bakar dan udara
- Rasio kompresi
- Temperatur dan tekanan awal
- Beban motor
- Turbulensi
- Kecepatan motor
- Ukuran motor

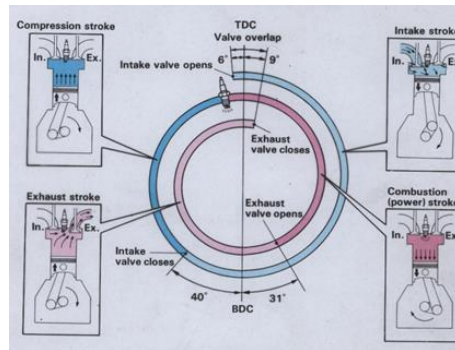
Perubahan tekanan terjadi disepanjang garis pembakaran (B-C). Pada grafik diatas, titik C menunjukkan selesainya perjalanan api. Namun, pembebasan panas dari bahan bakar masih berlangsung meskipun tidak memberikan kenaikan tekanan didalam silinder dikarenakan pada saat itu sudah terjadi proses ekspansi. Oleh karena itu, tahapan ini dikenal dengan istilah pembakaran lanjut (*after burning*).

### **2.1.3 Valve Timing Mesin 4 Langkah**

Waktu pembukaan dan penutupan katup pada siklus ideal yaitu pada saat piston berada tepat di TDC ataupun di BDC. Namun hal tersebut tidak mungkin terjadi dikarenakan beberapa factor berikut :

1. Faktor Mekanikal , dimana proses buka tutup katup dilakukan dengan mekanisme *cam*, buka tutup katup harus dilakukan secara perlahan untuk menghindari keausan dan suara bising, dengan alasan tersebut proses buka tutup katup tidak boleh mendadak.
2. Faktor dinamik, selain masalah mekanikal proses buka tutup katup, pengaruh adanya aliran dinamik gas yang terjadi pada kedua katup.





**Gambar 2.3** Valve Timing diagram mesin 4 langkah

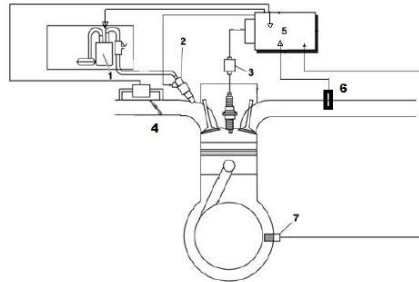
## 2.2 Sistem Injeksi Bahan Bakar

Sistem injeksi atau EFI (*Electronic Fuel Injection*) adalah sistem yang digunakan sebagai pengganti sistem karburator, dimana pada sistem injeksi ini volume bahan bakar dan waktu penyemprotan dilakukan secara elektris. Sistem EFI kadang disebut juga dengan EGI (*Electronic Gasoline Injection*), EPI (*Electronic Petrol Injection*), atau PGM-FI (*Programmed Fuel Injection*). Pada penelitian ini sistem yang digunakan adalah PGM-FI. Sistem ini dipakai pada kendaraan roda dua merk Honda. Penggantian sistem ini dimaksudkan untuk mencapai peningkatan unjuk kerja mesin, pemakaian bahan bakar yang ekonomis, dan menghasilkan kandungan emisi gas buang yang rendah sehingga lebih ramah lingkungan. Secara umum konstruksi sistem EFI dapat dibagi menjadi tiga bagian, yaitu :

1. Sistem pemasukan bahan bakar (*fuel system*), berfungsi untuk menyimpan, menyaring, menyalurkan , dan menginjeksikan bahan bakar ke ruang bakar
2. Sistem kontrol elektronik (*electronic control system*), komponen sistem kontrol elektronik terdiri dari beberapa sensor antara lain: *Throttle Position Sensor* (TPS), MAP (*Manifold Absolute Pressure*) sensor, IAT (*Intake Air Temperature*) sensor, *Engine Cooling Temperature* (ECT) Sensor, RPM sensor (*Inductive Magnetic Reluctor*), dan

sensor-sensor lainnya. Semua sensor tersebut akan mengirimkan data ke ECU untuk diproses.

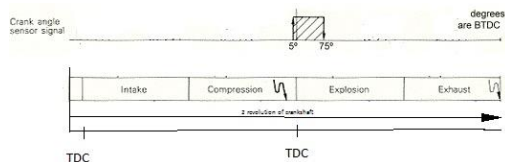
3. Sistem induksi atau sistem pemasukan udara (*air induction system*), sistem ini berfungsi untuk menyalurkan sejumlah udara yang diperlukan untuk pembakaran dalam ruang bakar.



**Gambar 2.4** Skema sistem injeksi secara umum [1]

1. Pompa bahan bakar/ *Fuel Pump*
2. *Fuel injector*
3. *Ignition coil*
4. *Throttle body*
5. ECU
6. Oksigen sensor
7. *Crank position sensor*

## 2.3 Waktu Pengapian



**Gambar 2.5** Skema sistem pengapian secara umum [1]

Pembakaran di dalam silinder kendaraan akan menentukan besarnya daya dan emisi dari gas hasil pembakaran tersebut. Pada

motor bensin, penyalaaan campuran bahan bakar dan udara yang ada di dalam silinder dilakukan oleh sistem pengapian, yaitu dengan adanya loncatan bunga api pada busi. Terjadinya loncatan api ini sekitar beberapa derajat sebelum TMA (titik mati atas) piston. Untuk memperoleh daya yang maksimal, saat pengapian ini harus tepat, bila pengapian terlalu cepat, maka gas sisa yang belum terbakar, terpengaruh oleh pembakaran yang masih berlangsung dan pemampatan yang masih berjalan, akan terbakar sendiri. Hal ini akan menjadikan kerugian. Sedangkan bila pengapian terlambat, daya yang dihasilkan akan berkurang.

Selain itu, waktu pengapian harus diatur sesuai dengan angka oktan dari bahan bakar yang digunakan. Berubahnya angka oktan dari bahan bakar harus selalu diikuti dengan penyetelan waktu pengapian. Rekomendasi pabrik kendaraan biasanya mensyaratkan penggunaan bensin tanpa timbal untuk mesin EFI. Hal ini menyebabkan waktu pengapian bisa tidak tepat, karena titik bakar dari bensin tidak sesuai dengan ketentuan. Oleh karena itu, waktu pengapian yang tepat sangat diperlukan untuk optimalisasi kerja mesin. Pada *engine* Honda CB150R waktu pengapian saat *idle* sebesar  $7^\circ$  sebelum TMA.

Bahan bakar gasoline (bensin) adalah produk utama dari petroleum dan biasanya hanya untuk bahan bakar S.I Engine. Terdiri dari bermacam campuran seperti: parafin, olefin, naphthane dan aromatik. Komposisi gasoline berubah tergantung dari minyak bumi dan proses refining.

## **2.4 Electronic Control Unit (ECU)**

Electronic Control Unit terdiri dari sensor-sensor seperti *throttle position sensor (TPS)*, *intake air temperature sensor (IAT)*, *coolant temperature* dan *lambda sensor*.,. *Engine control unit* dapat mengatur *injection control* dan *ignition timing*. Sistem kontrol ini terdiri dari beberapa sensor,yang mendeteksi kondisi mesin, untuk kemudian mengkalkulasi volume injeksi (lamanya injeksi) sesuai dengan signal-signal (data) dari sensor-sensor yang mengontrol injeksi bahan bakar, serta mengatur waktu pengapian

Sensor-sensor ini mendeteksi volume udara masuk, temperatur udara, percepatan, penurunan kecepatan, dan gas sisa pembakaran. Sensor-sensor tersebut mengirimkan signal ke ECU. Kemudian ECU menentukan lamanya injeksi yang tepat dan mengirimkan signal ke injektor. Injektor menginjeksikan bahan bakar ke *intake manifold* sesuai dengan signal ini. volume injeksi tergantung dari lamanya signal dari ECU. Selain itu, ECU juga mengatur waktu pengapian berdasarkan putaran mesin. Pada penelitian yang dilakukan oleh saudara Gayuh dan Reno (2016) dihasilkan pemetaan durasi bahan bakar dan waktu pengapian pada rasio kompresi 12,5 adalah sebagai berikut :

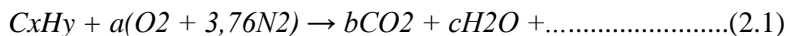
Tabel 2.1 Pemetaan Durasi Bahan Bakar dan Waktu Pengapian

RPM	adv timing	durasi %
2000	10°BTDC	200
3000	10°BTDC	200
4000	14°BTDC	200
5000	14°BTDC	175
6000	18°BTDC	175
7000	18°BTDC	150
8000	18°BTDC	150

## 2.5 Perbandingan Udara dan Bahan Bakar

### 2.5.1 Pembakaran Stoikiometri

Bahan bakar hidrokarbon akan dioksidasi secara menyeluruh menjadi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan uap air (H<sub>2</sub>O) jika tersedia pasokan oksigen dalam jumlah yang cukup. Kondisi pembakaran yang demikian disebut sebagai pembakaran stoikiometri dan persamaan reaksi kimia untuk pembakaran stoikiometri dari suatu bahan bakar hidrokarbon (C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>) dengan udara dituliskan sebagai berikut :



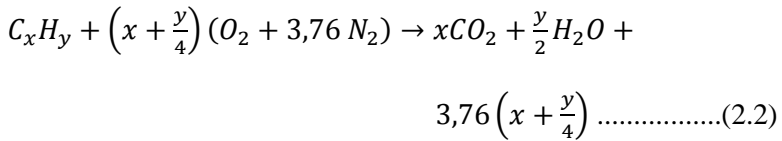
Kesetimbangan C :  $x = b$

Kesetimbangan H :  $y = 2c$  ,  $c = y/2$

Kesetimbangan O :  $2a = 2b + c$  ,  $a = b + c/2$  ,  $a = x + y/4$

Kesetimbangan N :  $2(3,76)a = 2d$  ,  $d = 3,76a$  ,  $d = 3,76(x + y/4)$

Substitusi persamaan-persamaan kesetimbangan di atas ke dalam persamaan reaksi pembakaran  $C_xH_y$  menghasilkan persamaan sebagai berikut :



Jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mendapatkan pembakaran stoikiometri adalah :

$$m_{O_2} = \frac{m_{atom O_2}}{m_{atom C_xH_y}} \times \% C_xH_y \left(\frac{kg}{kg\ bb}\right) \dots\dots\dots(2.3)$$

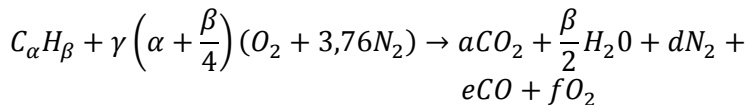
Stoikiometri massa yang didasarkan pada rasio udara dan bahan bakar (*air fuel ratio*) untuk bahan bakar hidrokarbon ( $C_xH_y$ ) adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \left(\frac{A}{F}\right)_S &= \frac{(m_{air})}{(m_{fuel})} = \frac{\Sigma(n_i M_i)_{air}}{\Sigma(n_j M_j)_{fuel}} \\ &= \frac{\left(x + \frac{y}{4}\right)M_{O_2} + 3,76\left(x + \frac{y}{4}\right)M_{N_2}}{xM_C + yM_H} \dots\dots\dots(2.4) \end{aligned}$$

Pada bahan bakar bensin, udara yang dibutuhkan untuk membakar 1 kg bahan bakar adalah 14,7 kg yang kemudian disebut perbandingan campuran udara dan bahan bakar stoikiometri 14,7:1 [10].

### 2.5.2 Pembakaran *Non Stoikiometri*

Mekanisme pembakaran dituntut dapat berlangsung secara cepat sehingga sistem-sistem pembakaran dirancang dengan kondisi udara berlebih. Hal ini dimaksudkan untuk mengantisipasi kekurangan udara akibat tidak sempurnanya proses pencampuran antara udara dan bahan bakar. Pembakaran yang demikian disebut sebagai pembakaran *non stoikiometri*. Persamaan reaksi kimia untuk pembakaran *non stoikiometri* dituliskan sebagai berikut:



#### 1. Pembakaran dengan komposisi campuran stoikiometri

Pada proses ini terjadi perpindahan panas yang maksimum dengan kehilangan panas yang minimum. Hasil pembakaran berupa CO<sub>2</sub>, uap air, dan N<sub>2</sub>.

#### 2. Pembakaran dengan komposisi campuran miskin

Pada proses ini terjadi perpindahan panas yang maksimum tetapi diikuti dengan bertambahnya kehilangan panas karena udara berlebih. Hasil pembakaran berupa CO<sub>2</sub>, uap air, O<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub>.

#### 3. Pembakaran dengan komposisi campuran kaya

Pada proses ini terjadi perpindahan panas yang kurang maksimum karena ada bahan bakar yang belum terbakar. Hasil pembakaran berupa HC, CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, dan N<sub>2</sub>. Sedangkan fraksi karbon terbentuk dari reaksi sekunder antara CO dan H<sub>2</sub>O

### 2.6 Bahan Bakar

Motor bensin dirancang dengan menggunakan bahan bakar *fossil fuel* yang diperoleh dari distilasi pendidihan minyak mentah (*crude oil*) pada suhu 30°C sampai 200°C. Hidrokarbon yang terdapat didalamnya antara lain *paraffin*, *naphthalene*, *olefin*, dan

*aromatic* dengan jumlah karbon yang bervariasi mulai dari 12 sampai 18. Bioetanol ( $C_2H_5OH$ ) adalah cairan biokimia dari proses fermentasi gula dari sumber karbohidrat menggunakan bantuan mikroorganisme. Bioetanol memiliki potensi untuk digunakan sebagai alternatif bahan bakar minyak bumi untuk tujuan mengurangi total emisi  $CO_2$  dari mesin pembakaran dalam. sifat-sifat bioetanol antara lain memiliki nilai oktan yang tinggi dan entalpi penguapan yang tinggi dibandingkan dengan bensin standar, yang memungkinkan untuk penggunaan rasio kompresi tinggi dan kemungkinan lebih meningkatkan waktu penyalan, serta membuat efisiensi engine meningkat. Karakteristik yang umum untuk menilai kinerja bahan bakar mesin bensin antara lain :

- **Bilangan oktan**  
Angka oktan pada bahan bakar mesin bensin menunjukkan kemampuan menghindari terbakarnya campuran udara bahan bakar sebelum waktunya. Jika campuran udara bahan bakar terbakar sebelum waktunya akan menimbulkan fenomena knocking yang berpotensi menurunkan daya mesin bahkan menimbulkan kerusakan pada komponen mesin.
- **Titik Tuang (Pour Point)**  
Titik tuang adalah suatu angka yang menyatakan suhu terendah dari bahan bakar minyak sehingga minyak tersebut masih dapat mengalir karena gaya gravitasi. Titik tuang merupakan ukuran daya atau kemampuan bahan bakar pada temperatur rendah, yang berarti bahwa kendaraan dapat menyala pada temperatur rendah karena bahan bakar masih dapat mengalir.
- **Nilai Kalor**  
Nilai kalor merupakan suatu angka yang menyatakan jumlah energi panas maksimum yang dibebaskan oleh suatu bahan bakar melalui reaksi pembakaran sempurna persatuan massa atau volume bahan bakar tersebut. Dari bahan bakar yang ada dibakar, nilai kalor yang terkandung akan diubah menjadi energi mekanik melalui kerja komponen mesin.

Besarnya nilai kalor atas diuji menggunakan bomb calorimeter.

- Viskositas

Viskositas merupakan tahanan yang dimiliki fluida dan dialirkan pada pipa kapiler terhadap gaya gravitasi, biasanya dinyatakan dalam satuan waktu yang dibutuhkan untuk mengalir pada jarak tertentu.

- Titik Nyala

Titik nyala merupakan suhu terendah dari bahan bakar yang dapat menimbulkan penyalan sesaat jika pada permukaan minyak tersebut didekatkan pada nyala api.

- Berat Jenis

Berat jenis adalah suatu angka yang menyatakan perbandingan berat dari bahan bakar minyak pada temperatur tertentu terhadap air pada volume dan temperatur yang sama. Besar nilai berat jenis suatu zat dapat dicari dengan menggunakan Piknometer. Penggunaan specific gravity adalah untuk mengukur berat/massa minyak bila volumenya telah diketahui. Bahan bakar minyak umumnya mempunyai specific gravity antara 0,74 dan 0,96 dengan kata lain bahan bakar minyak lebih ringan daripada air. Di Amerika, specific gravity umumnya dinyatakan dengan satuan yang lain yaitu API Gravity (American Petroleum Institute Gravity) dengan cara perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$API\ Gravity = \frac{141,5}{Specific\ Gravity\ (60^{\circ}F)} - 131,5 \dots\dots\dots(2.6)$$

### 2.6.1 Perbandingan Karakteristik Bahan Bakar Gasoline dan Bioetanol E100

Tabel 2.1 dibawah ini menjelaskan tentang karakteristik bahan bakar gasoline dan bioetanol E100. Gasoline yang mempunyai angka oktan 95 atau setara dengan Pertamina.



**Tabel 2.2** Karakteristik Bahan Bakar Gasoline dan Bioetanol E100 [4]

The fuel properties	Gasoline	Bio-ethanol
Density at 15 °C [kg/m <sup>3</sup> ]	735...760	792
Boiling point (at 1.013 bar) [°C]	30...190	78
Specific heat (at 20 °C, 1.013 bar) [kJ/kgK]	2.01	2.369
Dynamic viscosity at 0 °C [mPa s]	0.42	1.20
Heat of combustion [kJ/kg]	43500	26800
Theoretical combustion air quantity [kg/kg]	14.9	9
Heat of vaporization [kJ/kg]	290...380	904
Autoignition temperature [°C]	257...327	420
Octane number, MON/RON	90/98	87/106
Flame temperature ( $\lambda = 1$ ) [°C]	2290	1930
Ignitability range (20°C, 1.013 bar): $\Phi_s \dots \Phi_i$	0.4...1.4	0.3...1.56
Composition: c/h/o [%mass]	85/15/0	52/13/35
Flame velocity ( $\lambda = 1$ , at 20 °C, 1.013 bar) [m/s]	0.41	0.56
Ignitability point [°C]	<20	12.5
Reid vapour pressure [daN/cm <sup>2</sup> ]	0.8...0.9	0.14
Temperature reduce at vaporization ( $\lambda = 1$ ) [°C]	28	96.5
Heat of combustion for stoichiometric mixture [kJ/kg]	2990	2975
Temperature decrease when vaporizing a theoretical mixture [°C]	28...31	96.5
Molecular weight [kg/kmol]	98	46.070
Melting point at 1.013 bar [°C]	< -30	-114.6

Dengan perbedaan yang ditunjukkan oleh data sekunder tersebut dan menghubungkannya dengan tahapan unjuk kerja mesin maka dapat diperkirakan bahwa pemetaan ignition timing yang optimum serta penginjeksian bahan bakar akan berpengaruh pada hasil unjuk kerja *engine*.

## 2.7 Parameter Unjuk Kerja Engine

Pengujian suatu engine ditentukan oleh beberapa parameter unjuk kerja engine dan kadar emisi gas buang hasil pembakaran. Baik atau tidaknya suatu desain engine dapat dilihat melalui unjuk kerja (*performance*) yang dihasilkannya. Untuk menentukan parameter unjuk kerja engine, maka harus ditentukan terlebih dahulu sistem yang digunakan. Beberapa parameter yang digunakan untuk mengevaluasi unjuk kerja tersebut antara lain :

### 2.7.1 Torsi

Kemampuan engine dalam menghasilkan kerja ditunjukkan dengan nilai torsi yang dihasilkannya. Dalam keadaan sehari-hari torsi digunakan untuk akselerasi kendaraan untuk meningkatkan kecepatan. Torsi merupakan perkalian antara gaya tangensial dengan panjang lengan. Rumus untuk menghitung torsi pada engine adalah sebagai berikut :

$$Torsi = P \times R \dots\dots\dots(2.7)$$

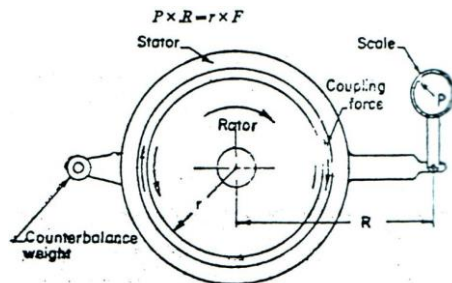
Dimana:

$P$  = gaya tangensial (N)

$R$  = lengan gaya *water brake dynamometer* (m)

Pada pengujian, torsi yang dihasilkan oleh motor dibaca pada display *waterbrake dynamometer*. Torsi yang didapatkan masih dalam lb.ft sehingga diperlukan faktor konversi agar didapatkan nilai torsi dengan satuan metris. Adapun faktor konversi  $X$  yang digunakan adalah:

$$X = \text{faktor konversi} = \left[ \frac{4.448 \text{ N}}{1 \text{ lbf}} \times \frac{1 \text{ m}}{3.2808 \text{ ft}} \right] \dots\dots\dots(2.8)$$



**Gambar 2.6** *Waterbrake dynamometer*

### 2.7.2 Daya (Brake Horse Power)

Tujuan dari pengoperasian engine adalah untuk menghasilkan daya atau power. Brake horse power merupakan

daya yang dihasilkan dari poros output engine yang dihitung berdasarkan laju kerja tiap satuan waktu. Nilai daya sebanding dengan gaya yang dihasilkan dan kecepatan linearnya atau sebanding dengan torsi poros dan kecepatan sudutnya. Untuk menghitung daya motor digunakan perumusan:

$$bhp = \omega \times T = 2 \pi n \times T \dots\dots\dots(2.9)$$

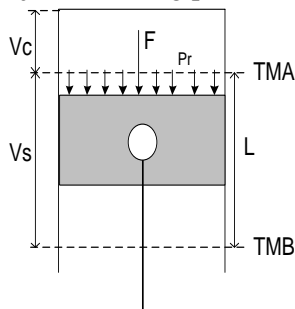
Dimana:

bhp	=	daya motor (Watt)
T	=	torsi motor (N.m)
n	=	putaran poros motor (rps)

### 2.7.3 Tekanan Efektif Rata-rata ( *Brake Mean Effective Pressure* )

Proses pembakaran campuran udara bahan bakar menghasilkan tekanan yang bekerja pada piston sehingga melakukan langkah kerja. Besarnya tekanan ini berubah-ubah sepanjang langkah piston tersebut. Bila diambil tekanan yang berharga konstan yang bekerja pada piston dan menghasilkan kerja yang sama, maka tekanan tersebut disebut sebagai kerja per siklus per volume langkah piston. Besarnya bmep dapat diturunkan sebagai berikut :

Gaya yang bekerja mendorong piston ke bawah :



$$F = P_r \times A$$

**Gambar 2.7** Gaya yang bekerja pada piston

Kerja selama piston bergerak dari TMA ke TMB :

$$W = F \times L = (P_r \cdot A) \times L$$

Daya Motor (Kerja per satuan waktu). Jika poros engkol berputar  $n$  rpm, maka dalam 1 menit akan terjadi  $\frac{n}{z}$  siklus kerja. Dimana

$\frac{n}{z} \left( \frac{\text{siklus}}{\text{menit}} \right)$  ;  $z = 1$  (untuk motor 2langkah), 2 (untuk motor 4langkah).

Daya tiap silinder :

$$W = \frac{Pr \cdot A \cdot L \cdot n}{z}$$

Daya motor sejumlah “i” silinder :

$$W = \frac{Pr \cdot A \cdot L \cdot n \cdot i}{z}$$

Jika  $W = bhp$  dan  $P_r = bmep$ , maka :

$$bmep = \frac{bhp \cdot z}{A \cdot L \cdot n \cdot i} (Pa) \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana :

- $bhp$  = daya motor, Watt
- $A$  = Luas penampang torak,  $m^2$
- $L$  = Panjang langkah torak, m
- $i$  = Jumlah silinder
- $n$  = Putaran mesin, rps
- $z$  = 1 ( motor 2 langkah) atau 2 ( motor 4 langkah )

#### 2.7.4 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (*Specific Fuel Consumption*)

Merupakan ukuran pemakaian bahan bakar oleh suatu engine, yang diukur dalam satuan massa bahan bakar per satuan keluaran daya atau juga dapat didefinisikan sebagai laju aliran bahan bakar yang dipakai oleh motor untuk menghasilkan tenaga. Besarnya *Specific Fuel Consumption* dapat dihitung dengan persamaan :

$$sfc = \frac{\dot{m}_{bb}}{bhp} \dots\dots\dots(2.11)$$

dimana:

$$\begin{aligned} \dot{m}_{bb} &= \text{laju aliran massa bahan bakar, kg/s} \\ bhp &= \text{Daya motor, Watt} \end{aligned}$$

Pada pengujian standar, massa bahan bakar dapat dicari dengan menggunakan persamaan :

$$\dot{m} = \rho_{bb} \cdot \text{Volume}$$

dimana:

$$\begin{aligned} \rho_{bb} &= SG_{bb} \times \rho_{H_2O} \text{ ( kg/m}^3\text{)} \\ \text{Volume} &= \text{(m}^3\text{)} \end{aligned}$$

### 2.7.5 Efisiensi Thermal

Effisiensi thermal adalah ukuran besarnya pemanfaatan energi panas dari bahan bakar untuk diubah menjadi daya efektif oleh motor.

$$\eta_{th} = \frac{\text{Energi yang berguna}}{\text{Energi yang diberikan}} \times 100\%$$

Jika masing-masing dibagi dengan waktu, t maka:

$$\eta_{th} = \frac{\text{kerja/waktu}}{\left( \text{panas yang diberikan/waktu} \right)} \times 100 \%$$

Dimana:

$$\begin{aligned} \text{Kerja/waktu} &= \text{daya (bhp)} \\ \text{panas yang diberikan} &= \text{nilai kalor} \times \text{massa bahan bakar} \\ &= Q \times \dot{m}_{bb}, \text{ sehingga:} \end{aligned}$$

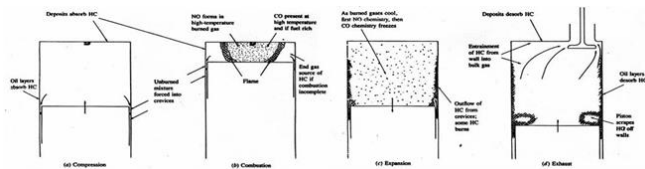
$$\eta_{th} = \frac{BHP}{\dot{m}_{bb} \times Q} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana:

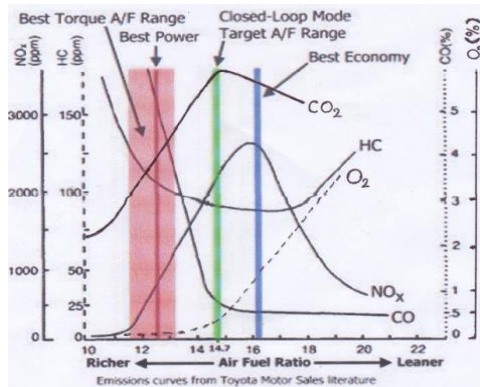
- $sfc$  = konsumsi bahan bakar spesifik (kg/Watt . s)  
 $\dot{m}_{bb}$  = laju aliran massa bahan bakar (kg/s)  
 $Q$  = nilai kalor bawah dari bahan bakar yang digunakan (kj/kg)

## 2.8 Polusi udara

Polusi udara adalah masuknya bahan pencemar kedalam udara sedemikian rupa sehingga mengakibatkan kualitas udara menurun dan lingkungan tidak berfungsi sebagaimana mestinya. Polutan dapat dibedakan menjadi dua, yaitu polutan primer dan polutan sekunder. Polutan primer adalah polutan dimana keberadaannya di udara langsung dari sumbernya. Contoh polutan primer adalah sulfur oksida ( $SO_x$ ), nitrogen oksida ( $NO_x$ ), hidrokarbon (HC), dan carbon monoksida (CO). Sedangkan polutan sekunder adalah polutan primer yang bereaksi dengan komponen lain di udara, contohnya ozon ( $O_3$ ) dan peroksi asetil nitrat (PAN) dimana keduanya terbentuk di atmosfer melalui proses hidrolisis, petrochemical atau oksidasi. Berikut ini merupakan mekanisme terbentuknya polutan seperti pada Gambar 2.8 dan Gambar 2.9.



**Gambar 2.8** Mekanisme terbentuknya polutan HC, CO dan  $NO_x$  pada SIE



**Gambar 2.9** Emisi gas buang versus *air-fuel ratio* pada SIE [13]

Dari kedua jenis polutan diatas yang sering jadi perhatian adalah polutan primer, meskipun polutan sekunder tidak bisa dianggap ringan. Berikut ini adalah penjelasan tentang beberapa polutan primer.

### 2.8.1 Hidrokarbon (HC)

Hidrokarbon terjadi dari bahan bakar yang tidak terbakar langsung keluar menjadi gas mentah, dan dari bahan bakar terpecah menjadi reaksi panas berubah menjadi gugusan HC yang keluar bersama gas buang. Sebab-sebab terjadinya hidrokarbon (HC) adalah karena tidak mampu melakukan pembakaran, penyimpanan dan pelepasan bahan bakar dengan lapisan minyak, penyalan yang tertunda, disekitar dinding ruang bakar yang bertemperatur rendah dan karena adanya *overlap valve*, sehingga HC dapat keluar saluran pembuangan.

Polutan *unburned hydrocarbon* berasal dari beberapa sumber yang berbeda. Terdapat empat kemungkinan penyebab terbentuknya HC pada engine SI sebagai berikut :

1. HC dalam volume *crevice* adalah volume dengan celah yang sangat sempit sehingga api tidak dapat menjangkaunya yang merupakan sumber utama munculnya HC dalam gas buang. Volume *crevice* yang

paling utama adalah volume diantara piston, ring piston, dinding silinder, pusat elektroda busi, dan *crevice* disekitar gasket silinder head.

2. Proses *flame quenching* pada dinding ruang bakar Api akan padam ketika menyentuh dinding ruang bakar karena *heat loss (wall quenching)*, sehingga meninggalkan lapisan tipis yang terdiri dari campuran yang tidak terbakar dan terbakar sebagian.
3. Penyerapan uap bahan bakar kedalam lapisan oli pada dinding ruang bakar Selama proses pengisian dan kompresi, uap bahan bakar diserap oleh oli pada dinding ruang bakar, selanjutnya melepaskannya kembali ke ruang bakar selama ekspansi dan pembuangan.
4. Pembakaran yang tidak sempurna Terjadi ketika kualitas pembakaran jelek baik terbakar sebagian (*partial burning*) atau tidak terbakar sama sekali (*complete misfire*) akibat homogenitas, turbulensi, A/F dan *spark timing* yang tidak memadai. Saat tekanan silinder turun selama langkah ekspansi, temperatur *unburned mixture* didepan muka api menurun, menyebabkan laju pembakaran menurun. Karena temperatur *unburned* didepan muka api yang terlalu rendah maka menyebabkan api padam sehingga nilai HC akan naik.

### 2.8.2 Karbon Monoksida (CO)

Gas karbon monoksida merupakan gas yang tidak berwarna, tidak berbau pada suhu diatas titik didihnya dan mudah larut dalam air. Pembakaran yang normal pada motor bensin akan membakar semua hidrogen dan oksigen yang terkandung dalam campuran udara dan bahan bakar. Akan tetapi dalam pembakaran yang tidak normal, misalnya pembakaran yang kekurangan oksigen, akan mengakibatkan CO yang berada di dalam bahan bakar tidak terbakar dan keluar bersama-sama dengan gas buang. Karbon monoksida juga cenderung timbul pada temperatur pembakaran yang tinggi. Meskipun pada campuran miskin



(mempunyai cukup oksigen) jika temperatur pembakaran terlalu tinggi, maka oksigen yang telah terbentuk dalam karbon dioksida bisa berdisosiasi membentuk karbon monoksida dan oksigen.

### **2.8.3 SO<sub>x</sub>**

Belerang Oksida atau Sox yang terdapat pada minyak bumi terdiri atas gas SO<sub>2</sub> dan gas SO<sub>3</sub> yang keduanya memiliki sifat berbeda. Gas SO<sub>2</sub> berbau tajam dan tidak mudah terbakar, sedangkan gas SO<sub>3</sub> mudah beraksi dengan uap di udara untuk membentuk asam sulfat. Asam Sulfat ini bersifat sangat reaktif dan memiliki banyak dampak negatif di antaranya korosif, beracun, dan selalu mengikat oksigen untuk mencapai fasa kestabilan gasnya, serta menimbulkan gangguan sistem pernafasan.

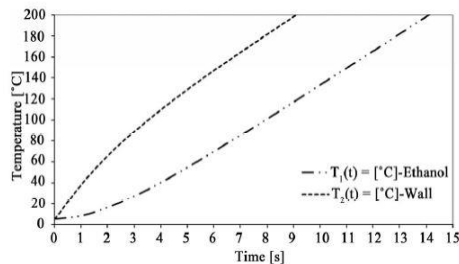
### **2.8.4 NO<sub>x</sub>**

Diantara berbagai jenis oksida nitrogen yang ada di udara, nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>) merupakan gas yang paling beracun. Percobaan pada manusia menyatakan bahwa kadar NO<sub>2</sub> sebesar 250 µg/m<sup>3</sup> dan 500 µg/m<sup>3</sup> dapat mengganggu fungsi saluran pernafasan pada penderita asma dan orang sehat.

## **2.9 Penelitian Terdahulu**

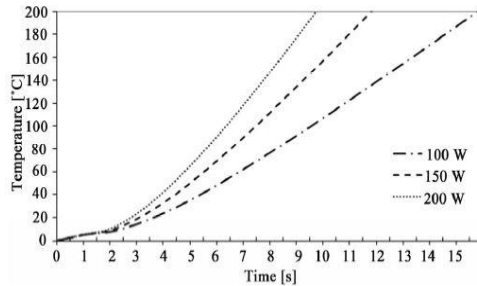
Penelitian yang dilakukan oleh Rezendel dan Moreira (2012) bertujuan untuk menyajikan pemodelan termal dari sistem teknologi cold-start baru yang dirancang untuk pembakaran siklus Otto berdasarkan prinsip pemanasan elektromagnetik. Pemanasan elektromagnetik untuk memecahkan masalah penyalan dingin masih dalam tahap pengembangan dan memungkinkan mesin mulai dari suhu rendah di kendaraan didukung oleh etanol atau flex-fuel kendaraan (FFV). Teknologi sistem baru ini harus tersedia sebagai alternatif untuk menggantikan sistem yang ada. Saat ini, sistem penyalan dingin menggunakan tangki bensin tambahan, yang membawa beberapa kemudahan bagi pengguna. Penelitian ini bertujuan juga untuk membuat model fisik yang

memperhitungkan semua parameter yang terlibat pada proses pemanasan seperti pemanasan listrik dan rata-rata koefisien perpindahan panas. Penelitian ini didasarkan pada teori sistem disamakan untuk model proses pemanasan etanol. Dari hasil analisis, dua persamaan diferensial muncul, yang memungkinkan solusi analitis. Terutama, kurva pemanasan etanol dalam injektor diperoleh yang merupakan parameter penting dalam proses. Akhirnya, analisis sensitivitas mengontrol parameter seperti listrik pemanasan dan variasi koefisien perpindahan panas. Penelitian ini menyimpulkan dengan saran untuk penelitian lebih lanjut.



**Gambar 2.10** Waktu kenaikan suhu etanol dan dinding injektor terhadap fungsi waktu untuk laju pemanasan 100 W e dan  $h = 300 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot ^\circ \text{C}$  [7]

Pada gambar 2.10 menunjukkan perilaku kurva panas dari etanol dan bagian dinding injektor sebagai fungsi waktu untuk daya pemanas  $q_{ind} = 100 \text{ W}$ . Dimana muncul dua persamaan diferensial yaitu grafik etanol dan dinding terhadap fungsi temperatur dengan waktu.

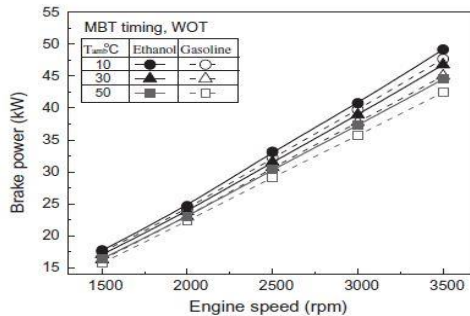


**Gambar 2.11** Grafik perbandingan daya pemanasan pada injektor [7]

Dari gambar 2.11 dapat dilihat bahwa sistem setelah waktu pemanasan untuk meningkatkan suhu etanol antara 5 dan 80 ° C. Yaitu, peningkatan 75 ° C membutuhkan waktu 7,4 s untuk daya pemanasan 100 W. Untuk  $q_{ind} = 150$  W, membutuhkan waktu selama 5,6 s dan pada  $q_{ind} = 200$  W, membutuhkan waktu selama 4,8 s.

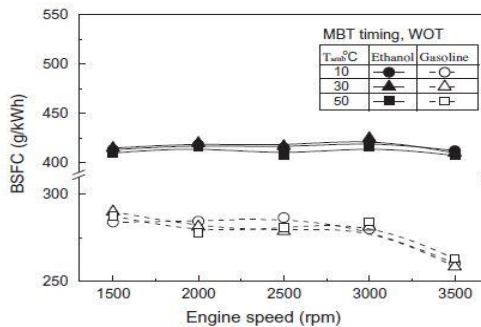
Penelitian yang dilakukan oleh Seung dan Lee (2012) yaitu efek dari pembakaran bioethanol terhadap kinerja dan emisi pada *spark ignitin engine* diberbagai kondisi suhu udara. Percobaan dilakukan untuk suhu udara masuk yang berbeda dan berbagai kondisi operasi, dan Hasilnya dibandingkan dengan yang untuk bahan bakar bensin konvensional. Hasil yang diteliti menunjukkan bahwa suhu udara ambien asupan menurun, tingkat aliran asupan meningkat dengan peningkatan kepadatan dari udara masuk. Bahan bakar etanol memiliki efisiensi volumetrik yang lebih tinggi daripada bensin untuk semua kecepatan mesin dan kondisi suhu lingkungan. Tekanan silinder meningkat dengan peningkatan volumetrik efisiensi karena penurunan suhu intake. Selain itu, pembakaran etanol menciptakan tekanan pembakaran lebih tinggi dari bensin karena tingkat penguapan panas laten yang tinggi dan titik didih rendah. Koefisien variasi menunjukkan tekanan maksimum sedikit menurun tren dengan naiknya suhu udara ambien. Konsentrasi emisi NOx cenderung meningkat secara proporsional dengan meningkatnya suhu udara ambien dan

kecepatan mesin untuk semua kondisi pengujian. Namun, HC, dan CO emisi dari pembakaran etanol ditingkatkan dari pada pembakaran bensin.



**Gambar 2.12** Grafik perbandingan daya terhadap putaran mesin [9]

Dari gambar 2.12 didapatkan garis trendline untuk variasi temperatur udara intake manifold antara etanol dan bensin yang difungsikan antara daya dengan putaran engine. Daya semakin naik untuk temperatur udara masuk semakin menurun.

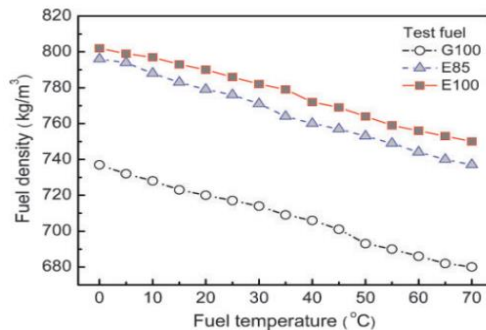


**Gambar 2.13** Grafik perbandingan konsumsi bahan bakar spesifik terhadap putaran mesin [9]

Pada gambar 2.13 BMEP etanol untuk setiap kondisi suhu meningkat dengan sekitar 5% di semua rentang percobaan. Selain

itu, nilai maksimum dari BMEP untuk etanol adalah 1,052 MPa pada 10° C, yaitu sekitar 3% lebih tinggi dari bensin. Penurunan efisiensi volumetrik oleh kenaikan suhu udara intake mengakibatkan lebih rendah BMEP. Selain itu, perbedaan BMEP antara etanol dan bensin dimaksimalkan sesuai dengan penurunan suhu dan peningkatan kecepatan mesin. Output kinerja yang lebih tinggi untuk etanol juga disebabkan oleh oksigen yang lebih tinggi kandungannya pada bahan bakar etanol.

Penelitian yang dilakukan oleh S H Yoon dkk (2009) menunjukkan hasil pengukuran dari densitas bahan bakar dengan variasi suhu dan uji bahan bakar (E100, E85, dan G100). Massa jenis E100 dan E85 jauh lebih tinggi dari G100, dan E100 mempunyai nilai densitas tertinggi dari bahan bakar yang diuji. Selain itu, dapat dilihat bahwa densitas bahan bakar uji menurun dengan linier seiring dengan meningkatnya kenaikan suhu dari 0° C sampai 70° C (P 1atm).



**Gambar 2.14** *Effect of the fuel temperature on the density [8]*

Pada gambar 2.14 dapat disimpulkan bahwa dengan kenaikan suhu bahan bakar etanol maka massa jenis akan semakin menurun. Hal ini yang menyebabkan jumlah atau debit bahan bakar etanol berkurang. Bahan bakar etanol tersebut menunjukkan bahwa nilai massa jenis untuk etanol lebih besar daripada massa jenis *gasoline*.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode eksperimental. Pengujian dilakukan pada motor Honda CB150R dengan putaran dan temperatur bahan bakar bervariasi. Untuk mendapatkan kemudahan dalam penyalaan awal dan mendapatkan performa *engine* yang baik maka dilakukan modifikasi dengan penambahan alat berupa sistem pemanas untuk mengontrol temperatur bahan bakar masukan injektor. Sedangkan untuk mengetahui kadar emisi gas buang dilakukan pengujian dengan menggunakan *gas analyzer*. Proses pemasangan dan modifikasi dilakukan di Laboratorium Teknik Pembakaran dan Bahan Bakar (TPBB), Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Hasil yang diharapkan dari penelitian untuk mendapatkan nilai temperatur bahan bakar bioetanol yang sesuai dan nilai unjuk kerja yang dinyatakan dalam : daya, torsi, bmep, temperatur ( exhaust, engine, oli, bioetanol) serta emisi gas buang (CO<sub>2</sub>, dan HC). Penelitian ini dibagi menjadi dua kelompok yaitu:

1. Kelompok kontrol adalah motor bensin standar yang menggunakan bahan bakar pertamax.
2. Kelompok uji adalah motor bensin dengan menggunakan bahan bakar bioetanol dengan penambahan alat sistem pemanas yang berfungsi untuk memanaskan bahan bakar yang masuk ke dalam injektor. Pemanasan bahan bakar ini akan menentukan temperature bioetanol yang akan masuk kedalam *intake manifold engine*.

#### **3.1 Peralatan Uji**

Peralatan uji yang dilakukan dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut:

##### **3.1.1 Engine Test**

Berikut spesifikasi dasar motor Honda CB150R yang akan menjadi acuan dalam proses penelitian:



**Gambar 3.1** Motor Honda CB150R

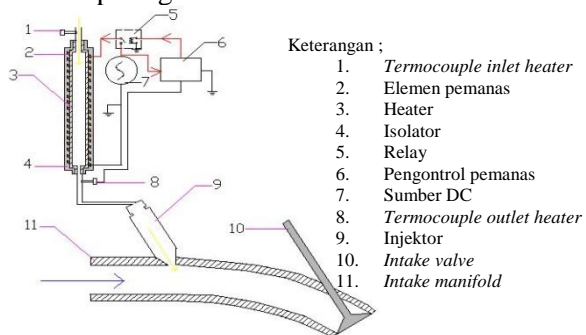
- Dimensi : 2,008 x 719 x 1,061 mm
- Jarak sumbu roda : 1,288 mm
- Berat : 129 kg
- Jenis rangka : *Diamond Steel (Trus Frame)*
- Suspensi : Depan : Teleskopik ;  
Belakang : Lengan ayun  
dengan suspensi tunggal
- Jenis ban : *Tubeless*
- Ukuran ban : 80/90 ; 100/80
- Jenis rem : Cakram hidrolik untuk depan dan belakang
- Transmisi : 6 kecepatan
- Sistem pengapian : *Full transistorized*
- Mesin :
- Tipe : 4 – langkah silinder tunggal  
( kemiringan 40° dari vertikal)
- Sistem klep : *DOHC*
- Diameter *bore* : 63,5 mm
- Panjang langkah : 47,2 mm
- Rasio kompresi : 11,0:1
- Katup in buka : 5° *BTDC*  
( pada pengangkatan 1,00 mm)



- Katup in tutup :  $35^\circ$  ABDC  
(pada pengangkatan 1,00 mm)
- Katup ex buka :  $35^\circ$  ABDC  
(pada pengangkatan 1,00 mm)
- Katup ex tutup :  $5^\circ$  BTDC  
(pada pengangkatan 1,00 mm)
- Daya maksimum : 12,5 KW (17,0 PS) / 10000 rpm
- Torsi maksimum : 13,1 Nm ( 1,34 Kgf.m) / 8000 rpm

### 3.1.2 *Elektromagnetic Induction Heater*

*Elektromagnetic Induction Heater* merupakan alat untuk memanaskan bahan bakar yang berupa gulungan kawat nikelin. Dimana voltase dan arus yang dilewatkan di gulungan berasal dari baterai motor. Pemanas digunakan untuk memanaskan bioetanol sebelum masuk ke injektor sehingga didapatkan temperatur bioetanol sesuai dengan yang diinginkan. Sistem pemanasan dari pemanas ini adalah bahan bakar dipanaskan sampai suhu yang diinginkan, sehingga thermostat akan mengirimkan sinyal untuk mematikan pemanas jika temperatur telah sesuai dengan yang dikehendaki dan aktuator menggunakan sistem relay. Maka temperatur bahan bakar bioetanol yang mengalir menuju injektor akan sesuai dengan yang diinginkan. Adapun skema *heater* seperti gambar 3.2 di bawah ini.



**Gambar 3.2** Sistem *induction heater*

### 3.1.3 Alat Ukur

Alat ukur adalah suatu peralatan yang diperlukan di dalam pengujian untuk mengetahui nilai pada parameter-parameter yang akan dicari nilainya melalui pengukuran tersebut. Adapun alat ukur yang digunakan selama pengujian ini adalah :

- a. *Roller*
- b. *Exhaust Gas Analyzer*
- c. *Thermocouple digital*
- d. *ECU programable*
- e. *Waterbrake Dynamometer*
- f. *Stop Watch*
- g. Tabung ukur waktu konsumsi bahan bakar
- h. *Pitot Static Tube V-manometer*
- i. *V Manomater*

Peralatan Bantu :

- a. Blower
- b. Pompa air

## 3.2 Bahan Bakar

### 3.2.1 Bahan bakar pertamax

Bahan bakar pertamax yang digunakan merupakan produksi dari Pertamina yang dijual bebas dipasaran.

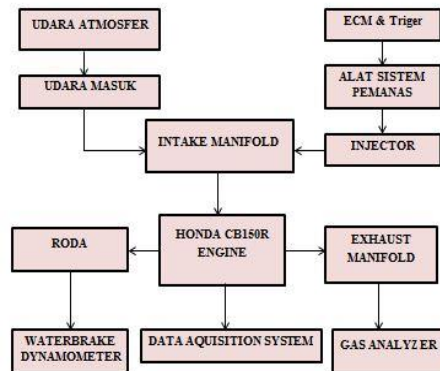
### 3.2.2 Bahan bakar bioetanol

Bahan bioetanol yang digunakan merupakan produksi dari PT Ereno dengan kemurnian 99,6 % dan tidak dijual bebas dipasaran.

## 3.3 Prosedur Pengujian

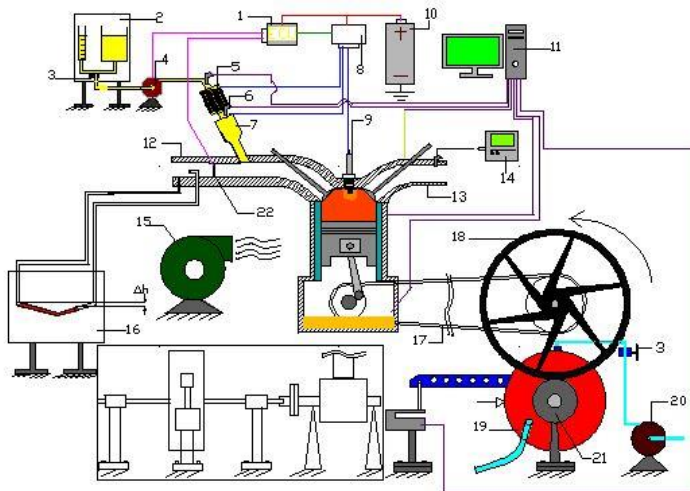
### 3.3.1 Skema Peralatan Uji

Skema pengujian yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada gambar 3.3 berikut ini:



**Gambar 3.3** Skema proses pengujian motor Honda CB150R

Skema alat uji dapat dilihat pada Gambar 3.4 di bawah ini :



**Gambar 3.4** Skema alat uji motor Honda CB150R

Keterangan Gambar 3.4 :

- |                      |                                   |
|----------------------|-----------------------------------|
| 1. ECM               | 12. <i>Intake manifold</i>        |
| 2. Meja gelas ukur   | 13. <i>Exhaust manifold</i>       |
| 3. Valve             | 14. <i>Gas Analyzer</i>           |
| 4. Pompa bahan bakar | 15. Blower                        |
| 5. Heater            | 16. Meja V-manometer              |
| 6. Termokopel        | 17. <i>Chain</i>                  |
| 7. Injektor          | 18. Roda                          |
| 8. Triger            | 19. <i>Waterbrake dynamometer</i> |
| 9. Busi              | 20. Pompa Air                     |
| 10. Baterai          | 21. <i>Roller</i>                 |
| 11. Komputer         | 22. Katup kupu-kupu               |

### 3.3.2 Tahapan Pengujian

Prosedur pengujian merupakan rangkaian tahapan yang harus dilakukan mulai dari persiapan sampai selesainya pengujian. Adapun prosedur pengujian ini adalah sebagai berikut:

#### 3.3.2.1 Persiapan Pengujian

1. Memeriksa kondisi kesiapan mesin yang meliputi kondisi fisik mesin, sistem pelumasan, sistem pendingin, sistem bahan bakar, sistem udara masuk, pemanas dan sistem kelistrikan. Melakukan modifikasi mesin Honda CB150R dengan merubah rasio kompresi menjadi 12,5 dan memasang pemanas bahan bakar.
2. Mengontrol sistem pemanas apakah mampu berjalan dengan baik.
3. Memeriksa kesiapan alat-alat ukur.
4. Mempersiapkan tabel dan alat tulis untuk pengambilan data.
5. Memeriksa sistem pembebanan *waterbrake dynamometer test*.
6. Mempersiapkan laptop untuk menangkap sinyal data dari ECU *programmable*.

### 3.3.2.2 Pengujian *Engine* dengan Menggunakan ECU standar Berbahan Bakar Pertamina (0% bioetanol).

Percobaan ini dilakukan pada putaran mesin yang bervariasi (*variable speed*) mulai dari putaran 2000 rpm hingga 8000 rpm. Pengaturan putaran mesin dilakukan melalui pembebanan mekanis pada poros *Waterbrake Dynamometer* yang terkopel dengan poros *roller* yang digerakkan oleh ban roda belakang sepeda motor Honda CB150R. Berikut adalah langkah-langkah yang dilakukan selama pengujian mesin kondisi standar :

1. Menghidupkan mesin Honda CB150R pada putaran idle ( 1000 rpm) selama 10 menit untuk mencapai kondisi *steady state* atau stasioner.
2. Blower dihidupkan.
3. Menjalankan mesin dengan melakukan pemindahan gigi transmisi dari gigi 1 hingga gigi maksimum yaitu gigi 6, kemudian buka katup kupu-kupu hingga terbuka penuh (*fully open throttle*). Pada kondisi ini putaran mesin sebesar 11000 rpm dan merupakan putaran maksimum dari mesin Honda CB150R. Selama putaran maksimum, tidak dilakukan pembebanan pada *waterbrake dynamometer*.
4. Pemberian beban *waterbrake dynamometer* sehingga putaran mesin berada pada 2000 rpm untuk kemudian dilakukan pengambilan data untuk tiap kelipatan 1000 rpm hingga putaran terakhir 8000 rpm.
5. Jika putaran mesin sudah stabil maka pencatatan data dapat dilakukan meliputi data putaran poros *waterbrake dynamometer* (rpm), torsi (Lbf.ft), waktu konsumsi 25 ml bahan bakar pertamax (sekon), emisi CO (% volume), emisi HC (ppm volume), temperatur gas buang (°C), temperatur engine (°C), dan temperatur oli (°C).

### 3.3.2.3 Pengujian *Engine* dengan Menggunakan ECU Standar dengan ECU *programable* Berbahan Bakar Bioetanol E100.

Pengujian *engine* dengan bahan bakar bioetanol E100 ini dilakukan dengan rasio kompresi yang dilakukan dari penelitian saudara reno, et al yaitu rasio kompresi sebesar 12,5 dan *mapping* durasi injeksi terbaik. Sedangkan untuk *mapping ignition timing*, menggunakan data dari penelitian saudara Gayuh dan Reno . Melakukan variasi temperatur bahan bakar untuk pengujian unjuk kerjanya. Adapun tahap dari pengujian *engine* kali ini, yaitu :

1. Menambahkan ECU *programable* untuk kebutuhan mesin Honda CB150R.
2. Pemanas dijalankan.
3. Menghidupkan mesin dengan kondisi putaran idle 1000 rpm menggunakan bahan bakar bioetanol selama 10 menit untuk mencapai kondisi *steady state*.
4. Blower dihidupkan.
5. Menjalankan mesin dengan melakukan pemindahan gigi transmisi dari gigi 1 hingga gigi maksimum yaitu gigi 6, kemudian membuka katup kupu-kupu hingga terbuka penuh (*fully open throttle*). Pada kondisi ini putaran mesin sebesar 11000 rpm dan merupakan putaran maksimum dari mesin Honda CB150R. Selama putaran maksimum, tidak dilakukan pembebanan pada waterbrake dynamometer.
6. Pembebanan *waterbrake dynamometer* sehingga putaran mesin berada pada 2000 rpm untuk kemudian dilakukan pengambilan data untuk tiap kelipatan 1000 rpm hingga putaran terakhir 8000 rpm.
7. Jika putaran mesin sudah stabil maka pencatatan data dapat dilakukan meliputi data putaran mesin (rpm), torsi (Lbf.ft), waktu konsumsi 25 ml bahan bakar bioetanol (sekon), emisi CO (% volume), emisi HC (ppm volume), temperatur gas buang (°C),

temperatur *engine* ( $^{\circ}\text{C}$ ), dan temperatur oli ( $^{\circ}\text{C}$ ) serta lamda ( $\lambda$ ).

8. Mengulangi langkah 6 dengan variasi temperatur bahan bakar masukan dari injektor mulai  $60^{\circ}\text{C}$  sampai  $80^{\circ}\text{C}$  ber-interval  $10^{\circ}\text{C}$  kemudian mengulangi langkah 7.
9. Pada setiap tahap kenaikan putaran mesin dilakukan pencatatan data seperti pada langkah 7. Dan harus diingat bahwa pencatatan data dilakukan pada saat putaran mesin dalam kondisi stabil

### 3.4 Rancangan Eksperimen

Dalam perancangan eksperimen ada beberapa parameter yang ingin didapatkan dengan menetapkan parameter input dan output. Tabel rancangan eksperimen dalam penelitian ini ditunjukkan pada tabel 3.1 berikut :

**Tabel 3.1** Rancangan Penelitian

Parameter Input		Parameter Output	
Tetap	Berubah	Diukur	Dihitung
<ul style="list-style-type: none"> <li>Bahan bakar bioetanol (E100)</li> <li>Set mesin Honda CB150R</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Temperatur bioetanol (<math>^{\circ}\text{C}</math>) :               <ul style="list-style-type: none"> <li><math>60^{\circ}\text{C}</math></li> <li><math>70^{\circ}\text{C}</math></li> <li><math>80^{\circ}\text{C}</math></li> </ul> </li> <li>Putaran mesin (rpm) :               <ul style="list-style-type: none"> <li>2000</li> <li>3000</li> <li>4000</li> <li>5000</li> <li>6000</li> <li>7000</li> <li>8000</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Torsi (Nm)</li> <li>Emisi gas <math>\text{CO}_2</math> dan HC</li> <li>Temperatur (<math>^{\circ}\text{C}</math>) :               <ul style="list-style-type: none"> <li>bioetanol</li> <li><i>engine</i></li> <li>oli pelumas</li> <li>gas buang</li> </ul> </li> <li>ri bahan bakar</li> <li>ri udara</li> <li>daya heater (V &amp; I)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Penyalan awal (putaran mesin)</li> <li>BMEP (KPa)</li> <li>Daya (Kw)</li> <li>Sfc</li> <li>Bhp</li> <li><math>\eta</math> thermal</li> <li>AFR</li> <li>Torsi (Nm)</li> </ul>

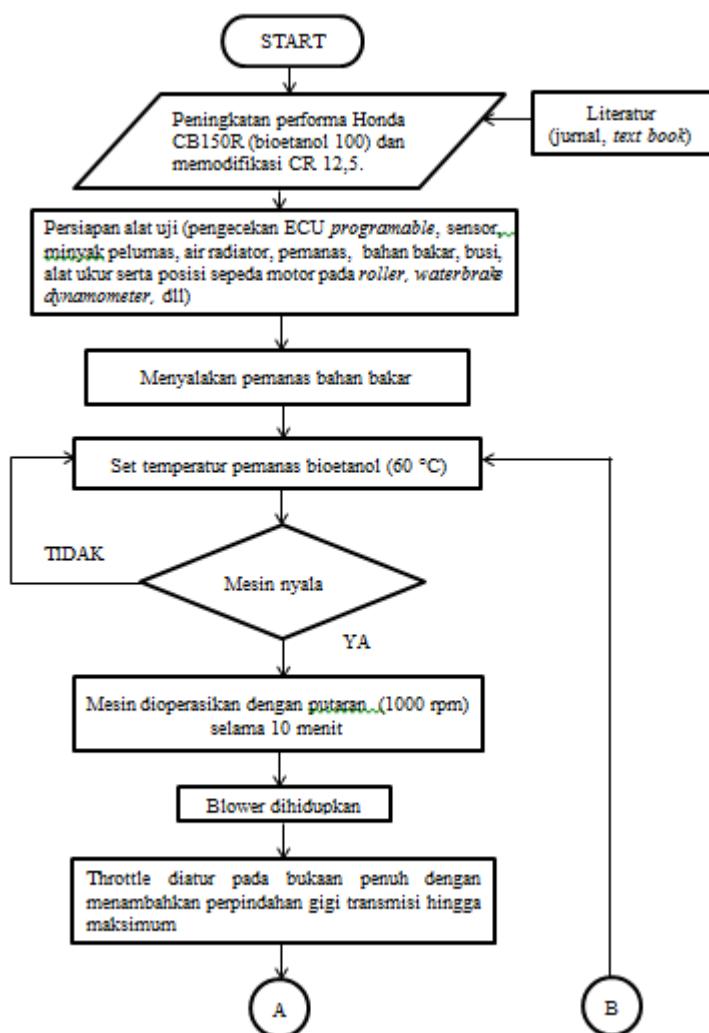
Dari eksperimen ini, data-data yang didapatkan ,dihitung dan kemudian ditampilkan dalam bentuk grafik antara lain :

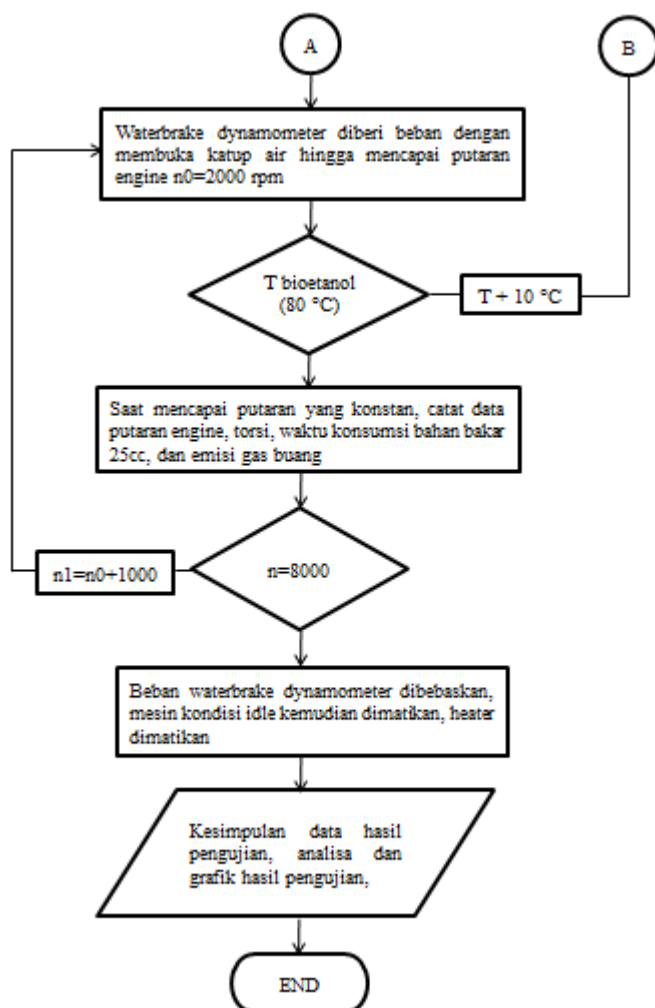
- a. Grafik antara dengan penyalan awal dengan putaran mesin.

- b. Grafik antara temperatur *engine* dengan putaran mesin.
- c. Grafik antara temperatur oli pelumas dengan putaran mesin.
- d. Grafik antara temperature gas buang dengan putaran mesin.
- e. Grafik antara temperatur bioetanol dengan putaran mesin.
- f. Grafik antara torsi dengan putaran mesin.
- g. Grafik antara daya dengan putaran mesin.
- h. Grafik antara BMEP dengan putaran mesin.
- i. Grafik antara SFC dengan putaran mesin.
- j. Grafik antara efisiensi *thermal* dengan putaran mesin.
- k. Grafik antara emisi CO dengan putaran mesin.
- l. Grafik antara emisi HC dengan putaran mesin.
- m. Grafik antara AFR dengan putaran mesin.



### 3.5 Flowchart Penelitian





## **BAB IV**

### **ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Penyetelan Alat Sistem Pemanas**

Dalam pengujian ini menggunakan pemanas induksi elektromagnetik berdaya 50 watt untuk memanaskan bioetanol pada masukan injektor sepeda motor Honda CB150R. Setelah alat pemanas terpasang pada sepeda motor, hal yang dilakukan adalah menyetel alat pemanas sesuai dengan kebutuhan variasi pengujian yaitu 60° C, 70° C, dan 80°C.

#### **4.2 Perhitungan**

Di dalam penelitian ini, terdapat parameter parameter yang dihitung dan parameter yang diukur. Parameter yang dihitung adalah daya efektif (bhp), tekanan efektif rata-rata (bmep), konsumsi bahan bakar spesifik (sfc), dan efisiensi *thermal*. Sedangkan parameter parameter yang diukur adalah Torsi (Kg.m), waktu konsumsi bahan bakar, emisi gas buang meliputi CO, HC. Dalam penelitian ini sistem satuan yang digunakan yaitu sistem satuan SI. Berikut adalah contoh perhitungan unjuk kerja *engine* untuk variasi T-in injektor = 70°C berbahan bakar bioetanol E100 pada putaran 7000 rpm. Adapun data yang diukur dari penelitian ini yang merupakan data awal untuk perhitungan adalah :

- Torsi = 1,63 Kgf.m
- Putaran Engine = 7000 rpm
- Waktu konsumsi bahan bakar = 18,16 sec
- Temperatur Engine = 126° C
- Temperatur Oli = 112° C
- Temperatur Gas Buang = 639° C
- Emisi CO = 2,02 %
- Emisi HC = 77 ppm

##### **4.2.1 Perhitungan Torsi**

Dari hasil pengujian didapatkan nilai torsi pada saat putaran mesin sebesar 7000 rpm adalah sebesar 1,63 Kgm. Pada penelitian ini satuan yang digunakan yaitu sistem satuan SI, maka hasil pengukuran torsi tersebut harus dikonversikan. Konversi yang dilakukan sebagai berikut :

#### 4.2.2 Perhitungan Daya

daya yang dihasilkan oleh motor pembakaran dalam ada 3 jenis, yaitu *brake horse power (bhp)*, *indicative horse power (ihp)*, *friction horse power (fhp)*. Daya yang digunakan dalam perhitungan ini adalah *brake horse power (bhp)*. Untuk mendapatkan bhp, digunakan data-data sebagai berikut :

- Torsi = 1,63 Nm
- Putaran *engine* = 7000 rpm  
= 116,67 rps

Rumus :

$$\text{Bhp} = 2 \times \pi \times n \times T$$

$$\text{Bhp} = 2 \times 3,14 \times 116,7 \times 1,63 \text{ Nm}$$

$$\text{Bhp} = 11917,869 \text{ Watt} = 11,917 \text{ KW}$$

#### 4.2.3 Perhitungan Tekanan Efektif Rata-rata (Bmep)

Untuk melakukan perhitungan tekanan efektif rata-rata diperlukan beberapa parameter dari karakteristik mesin. adapun data mesin dan perhitungan tekanan efektif rata-rata adalah sebagai berikut :

- Diameter Piston (D) = 63,5 mm
- Panjang Langkah (l) = 47,2 mm
- Jumlah Silinder (i) = 1
- z = 2 (motor 4 langkah)
- Putaran mesin = 7000 rpm

Dari data di atas dapat dicari :

Luas permukaan piston (A) :

$$A = \frac{\pi}{4} \times D^2 = \frac{3,14}{4} \times (0,0635\text{m})^2 = 0,003166922 \text{ m}^2$$

Rumus :

$$b_{mep} = \frac{b_{hp} \times Z}{A \times L \times n \times i}$$

$$b_{mep} = \frac{(11917,869 \text{ watt} \times 2)}{(0,003166922 \text{ m}^2 \times 0,0472 \text{ m} \times 116,7 \frac{1}{s} \times 1)}$$

$$b_{mep} = 671906,462 \text{ pa} = 671,906 \text{ Kpa}$$

#### 4.2.4 Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC)

Data awal : - Waktu konsumsi bahan bakar = 18,16 s

Dari data awal dan hasil perhitungan sebelumnya di atas, dapat dihitung konsumsi bahan bakar spesifik (sfc) dari engine. Rumus yang digunakan sebagai berikut :

$$sfc = \frac{\dot{m}_{bb}}{b_{hp}}$$

Oleh karena itu perlu dihitung pula besarnya laju aliran bahan bakar yang masuk melalui *port inlet engine*.

$$\dot{m}_{bb} = \frac{\rho_{\text{bioethanol}} \times \text{Volume } bb}{\text{waktu}}$$

$$\dot{m}_{bb} = \frac{794 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 25 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3}{18,16 \text{ s}}$$

$$\dot{m}_{bb} = 0,001093 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

$$sfc = \frac{0,001093 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}}{11917,869 \text{ watt}} \times \frac{100 \text{ watt}}{1 \text{ KW}} \times \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ jam}}$$

$$sfc = 0,000330 \frac{\text{Kg}}{\text{KW jam}}$$

#### 4.2.5 Perhitungan Efisiensi Thermal ( $\eta_{th}$ )

Data :

$$\text{- Bhp} = 11917,869 \text{ Watt}$$

$$\text{- LHVethanol} = 26950000 \text{ J/kg}$$

$$\text{- } \dot{m}_{bb} = 0,001903 \text{ kg/s}$$

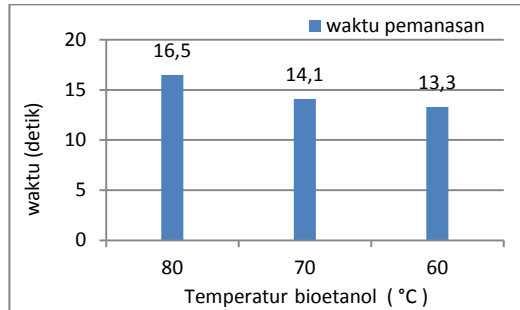
$$\eta_{th} = \frac{b_{hp}}{(\dot{m}_{bb} \times Q_{bb})} \times 100\%$$

$$\eta_{th} = \frac{11917,869 \text{ watt}}{(0,001903 \text{ kg/s} \times 26950000 \text{ J/kg})} \times 100\%$$

$$\eta_{th} = 0,405 \%$$

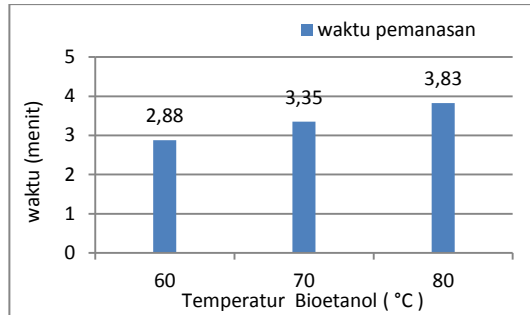
#### 4.3 Kemudahan Penyalan Awal

Penelitian ini menggunakan bahan bakar bioethanol E100 pada engine Honda CB150R dengan variasi temperatur bahan bakar yang masuk injektor 60° C, 70° C, dan 80°C. Pengujian ini dilakukan pada putaran rpm 2000 hingga 8000 dengan interval 1000 rpm. Setelah diuji didapatkan hasil seperti gambar 4.1.



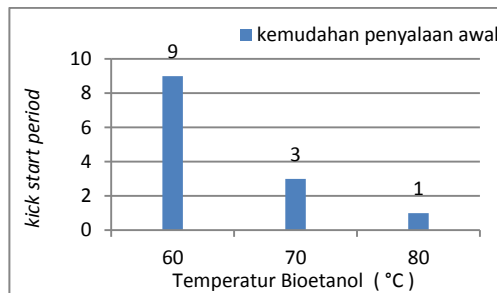
**Gambar 4.1** Grafik Waktu fungsi Temperatur Bioetanol Saat Penyalan Awal

Grafik 4.1 menunjukkan variasi temperatur bioetanol pada masukan injektor terhadap waktu pemanasan saat penyalan awal pada kondisi *engine* dingin. Pada temperatur bioetanol masukan injektor sebesar 60° C, waktu pemanasan mencapai 13,3 detik. Pada temperatur bioetanol masukan injektor sebesar 70° C, waktu pemanasan mengalami kenaikan sampai 14,1 detik. Sedangkan pada temperatur bioetanol masukan injektor sebesar 80° C, waktu pemanasan semakin naik sampai 16,5 detik. Pada pemanasan tersebut, daya pemanas sebesar 50 watt dan menggunakan kawat nikelin berdiameter 1,2 mm



**Gambar 4.2** Grafik waktu fungsi Temperatur Bioetanol Saat Pengujian Performa

Grafik 4.2 menunjukkan variasi temperatur bioetanol pada masukan injektor terhadap waktu pemanasan saat penyalaan awal pada kondisi *engine* dingin. Pada temperatur bioetanol masukan injektor sebesar 60° C, waktu pemanasan mencapai 3,83 menit. Pada temperatur bioetanol masukan injektor sebesar 70° C, waktu pemanasan mengalami kenaikan sampai 3,35 menit. Sedangkan pada temperatur bioetanol masukan injektor sebesar 80° C, waktu pemanasan semakin naik sampai 2,88 menit. Pada pemanasan tersebut, daya pemanas sebesar 50 watt dengan diameter kawat nikelin sebesar 5 mm dan sistem ini digunakan saat pengambilan data.



**Gambar 4.3** Grafik *kick start period* fungsi Temperatur Bioetanol

Grafik 4.3 menunjukkan variasi temperatur bioetanol pada masukan injektor terhadap *kick start period* saat penyalaan awal pada kondisi *engine* dingin. Pada temperatur bioetanol masukan injektor sebesar 60° C, *engine* menyala dengan jumlah *kick start period* sebanyak 9. Pada saat temperatur bioetanol masukan injektor sebesar 70° C, jumlah *kick start period* mengalami penurunan sebanyak 3 sampai kondisi *engine* menyala. Sedangkan pada temperatur bioetanol masukan injektor sebesar 80° C, untuk menyalakan *engine* hanya dibutuhkan 1 *kick start period*.

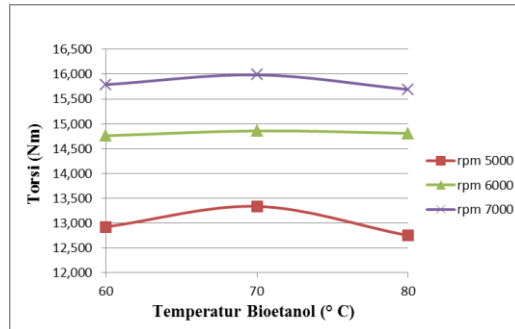
Bioetanol memiliki *volalitas* moderat dan titik didih yang tinggi yaitu 78° C (1 bar) yang mengindikasikan kesulitan penguapan di kondisi lingkungan yang cenderung dingin, serta memiliki panas laten yang sangat tinggi dari penguapan ( 3 kali ) lebih tinggi dari bensin. Properti ini mengindikasikan kesulitan *driveability* yaitu kebutuhan banyak energi untuk penguapan bahan bakar dalam kondisi dingin. Dengan adanya pemanasan bahan bakar ini didapatkan bahwa *engine* perlu waktu pemanasan 16,5 detik dan 1 *kick start period* untuk mampu menyalakan *engine*.

#### 4.4 Analisa Torsi

Dari grafik torsi fungsi rpm, terlihat adanya tren kenaikan torsi mulai dari putaran rendah hingga mencapai torsi maksimum pada putaran tertentu. kemudian torsi mengalami penurunan pada putaran lebih tinggi. Hal ini disebabkan, semakin tinggi putaran *engine* maka turbulensi aliran yang masuk ke ruang bakar akan semakin tinggi dan menyebabkan pencampuran bahan bakar dan udara semakin baik serta perambatan api juga semakin cepat sehingga torsi akan meningkat. Setelah putaran mesin semakin tinggi maka akan semakin besar kerugian-kerugian yang terjadi, seperti kerugian berupa gesekan dan adanya pembakaran yang kurang sempurna. semakin tinggi putaran *engine* maka friksi yang terjadi juga semakin besar. Selain itu pembakaran campuran bahan bakar dan udara dalam ruang bakar juga memerlukan



waktu. Ketika bahan bakar keluar dari injektor, diharapkan bahan bakar dalam kondisi panas agar proses penguapan mempunyai waktu yang lebih cepat sehingga pembakaran akan lebih sempurna.



**Gambar 4.4** Grafik Torsi fungsi Putaran Engine

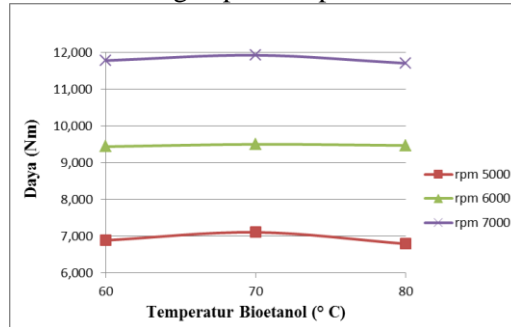
Besarnya torsi berbanding lurus dengan tekanan yang dihasilkan di dalam ruang bakar. Apabila tekanannya tinggi maka torsi yang dihasilkan tinggi. Pada gambar 4.4 grafik torsi fungsi rpm didapatkan torsi pada pemanasan bioetanol 60° C terhadap torsi pada E100 kondisi *programable* yaitu torsi mengalami kenaikan menjadi 4,76 % pada rpm 5000. Pada rpm 6000 nilai torsi naik 2,73 %, kemudian nilai torsi turun 0,310 % saat rpm 7000. Pada pemanasan bioetanol 70° C nilai torsi mengalami kenaikan menjadi 8,10 % pada rpm 5000. Pada rpm 6000 nilai torsi naik 3,41 %, kemudian nilai torsi naik 0,92 % saat rpm 7000. Pada pemanasan bioetanol 80° C nilai torsi mengalami kenaikan menjadi 3,33 % pada rpm 5000. Pada rpm 6000 nilai torsi naik 3,072 %, kemudian nilai torsi turun 0,92 % saat rpm 7000.

Pada pemanasan bioetanol 60° C nilai torsi cenderung naik sampai pada pemanasan bioetanol 70° C. Untuk pemanasan 80° C mengalami nilai torsi semakin menurun dibawah nilai torsi pada pemanasan bioetanol 70° C dan 60° C dikarenakan menurunnya massa jenis dari bioetanol sehingga debit bahan bakar yang diinjeksikan kedalam ruang bakar lebih sedikit.

Sedangkan nilai torsi terbaik dihasilkan pada pemanasan bioetanol 70° C.

#### 4.5 Analisa Daya Efektif

Terdapat 3 jenis daya dalam motor pembakaran dalam, yaitu *indicative horse power* (ihp), *brake horse power* (bhp), dan *friction horse power* (fhp). Pada putaran rendah, daya relatif rendah dan akan semakin tinggi ketika putaran mesin semakin tinggi. Secara teoritis, ketika putaran mesin meningkat, maka daya motor juga akan meningkat karena daya merupakan perkalian antara torsi dengan putaran poros.



**Gambar 4.5** Grafik Daya Efektif fungsi Putaran *Engine*

Dari gambar 4.5 diatas menunjukkan *trendline* daya *engine* pada tiap putaran yang diperlakukan dengan variasi temperatur bahan bakar. Daya yang dihasilkan dari engine dengan variasi temperatur bahan bakar masukan injektor didapatkan bahwa semua mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya putaran engine dari 2000 hingga 8000 rpm. Pada pemanasan bioetanol 60° C nilai daya cenderung naik sampai pada pemanasan bioetanol 70° C. Untuk pemanasan 80° C mengalami nilai daya semakin menurun dibawah nilai daya pada pemanasan bioetanol 70° C dan 60° C dikarenakan menurunnya massa jenis dari bioetanol sehingga debit bahan bakar yang diinjeksikan kedalam ruang bakar lebih sedikit. Sedangkan nilai daya terbaik

dihasilkan pada pemanasan bioetanol 70° C. Kenaikan daya berbanding lurus dengan kenaikan nilai torsi.

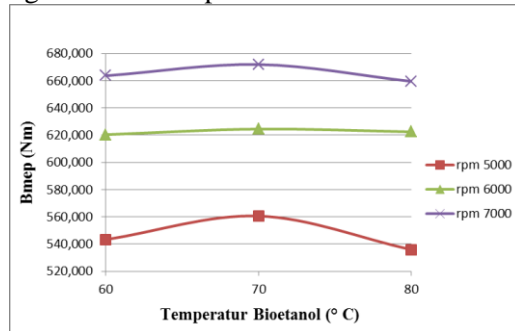
Semakin cepat putaran mesin, maka putaran poros juga semakin cepat. Akan tetapi, pada putaran tertentu torsi dan friksi yang terjadi lebih besar daripada kenaikan putaran yang terjadi. Hal ini akan mengakibatkan daya menurun. Daya akan menurun pada putaran tertentu dan pada umumnya pada putaran tinggi. Pada pengujian ini didapatkan daya yang seiring naik dengan bertambahnya putaran mesin. Hal ini dikarenakan pengujian hanya dilakukan pada batas 8000 rpm.

Dengan melakukan variasi temperatur bahan bakar didapatkan peningkatan daya terhadap daya yang diperoleh pada E100 kondisi *programable*. Dimana terjadinya kenaikan daya yang terbesar cenderung pada rpm 5000. Secara teoritis dapat dijelaskan bahwa peningkatan ini disebabkan oleh pemanasan bahan bakar yang mengakibatkan *viskositas* bioetanol menurun sehingga saat diinjeksikan ke dalam ruang bakar dapat membentuk butiran-butiran kabut bahan bakar yang lebih halus, dengan kondisi seperti ini maka proses pencampuran bahan bakar dengan udara akan lebih homogen sehingga bahan bakar akan lebih mudah terbakar dan menyebabkan persentase bahan bakar yang terbakar akan meningkat. Dengan semakin besarnya jumlah bahan bakar yang terbakar maka peningkatan tekanan yang terjadi dalam ruang bakar akibat pembakaran akan membesar yang pada akhirnya akan meningkatkan torsi dan daya yang dihasilkan oleh motor bakar. Untuk pemanasan 80° C mengalami nilai daya semakin menurun dikarenakan menurunnya massa jenis dari bioetanol sehingga debit bahan bakar yang diinjeksikan kedalam ruang bakar lebih sedikit. Dimana penurunan daya karena debit bahan bakar lebih besar dari pada kenaikan daya akibat kesempurnaan proses pembakaran.

#### **4.6 Analisa Tekanan Efektif Rata-rata**

Besarnya tekanan yang dialami piston berubah-ubah sepanjang langkah piston tersebut. Bila diambil tekanan yang

bernilai konstan yang bekerja pada piston dan menghasilkan kerja yang sama, maka tekanan tersebut merupakan tekanan efektif rata-rata yang dimiliki oleh piston.



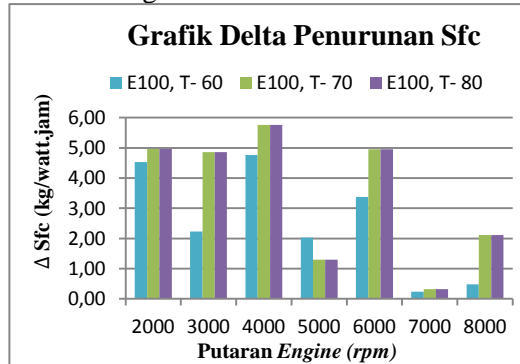
**Gambar 4.6** Grafik Bmep fungsi Putaran *Engine*

Dari gambar 4.6 di atas menunjukkan grafik tekanan efektif rata-rata dari engine pada tiap putaran engine dengan variasi temperatur bioetanol 60° C, 70° C, dan 80° C. Pada pemanasan bioetanol 60° C nilai bmep cenderung naik sampai pada pemanasan bioetanol 70° C. Untuk pemanasan 80° C mengalami nilai bmep semakin menurun dibawah nilai bmep pada pemanasan bioetanol 70° C dan 60° C dikarenakan menurunnya massa jenis dari bioetanol sehingga debit bahan bakar yang diinjeksikan kedalam ruang bakar lebih sedikit. Sedangkan nilai bmep terbaik dihasilkan pada pemanasan bioetanol 70° C. Kenaikan bmep berbanding lurus dengan kenaikan nilai torsi. Untuk pemanasan 80° C mengalami nilai bmep semakin menurun dikarenakan menurunnya massa jenis dari bioetanol sehingga debit bahan bakar yang diinjeksikan kedalam ruang bakar lebih sedikit. Dimana penurunan bmep karena debit bahan bakar lebih besar dari pada kenaikan bmep akibat kesempurnaan proses pembakaran.

#### 4.7 Analisa Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (sfc)

Konsumsi bahan bakar spesifik dapat didefinisikan sebagai laju aliran bahan bakar untuk memperoleh daya efektif. Nilai

konsumsi bahan bakar spesifik bergantung pada campuran udara dan bahan bakar yang terbakar dalam ruang bakar. Dengan semakin sempurnanya pembakaran, maka yang sfc yang dihasilkan semakin bagus.



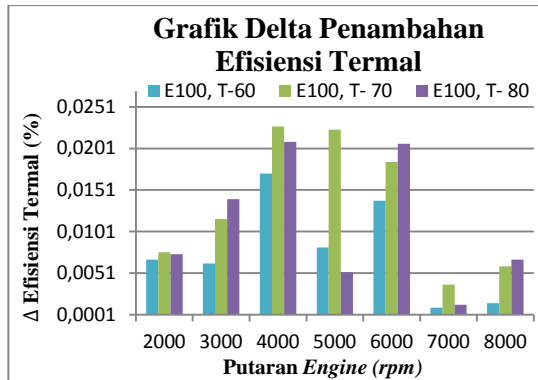
**Gambar 4.7** Grafik sfc fungsi Putaran Engine

Gambar 4.7 di atas menunjukkan perubahan sfc seiring bertambahnya putaran *engine*. Secara umum konsumsi bahan bakar spesifik dari rpm rendah ke tinggi akan mengalami penurunan hingga putaran mesin tertentu akan meningkat lagi. Hal ini disebabkan oleh semakin tingginya turbulensi aliran seiring dengan pertambahan putaran mesin, sehingga homogenitas campuran bahan bakar dan udara menjadi baik dan menghasilkan pembakaran yang lebih sempurna. Sedangkan pada saat *engine* bekerja pada putaran yang semakin rendah harga sfc-nya juga cenderung naik, hal ini dapat disebabkan karena adanya beban *engine* untuk menjalankan peralatan penunjang misalnya *alternator*, dimana besarnya beban ini adalah konstan. Pada saat putaran motor masih rendah maka daya yang dihasilkan juga masih kecil sehingga jika diberi beban dengan *waterbrake dynamometer* maka akan semakin kecil lagi daya yang dapat digunakan dan pada akhirnya akan meningkatkan konsumsi bahan bakar spesifik.

Pada grafik *sfc* terhadap juga nampak adanya kecenderungan *trendline* *sfc* untuk bioetanol yang dipanasi mempunyai harga yang lebih rendah untuk putaran *engine* (5000 rpm) bila dibandingkan dengan bioetanol yang tidak dipanasi. Kecenderungan ini dapat disebabkan karena dengan pemanasan akan membuat bioetanol menjadi lebih mudah terbakar sehingga membutuhkan waktu yang lebih singkat untuk mencapai kondisi uap dan hal inilah yang nantinya akan mengkompensasi keterbatasan waktu yang tersedia untuk pembakaran pada saat putaran motor yang tinggi sehingga persentase bahan bakar yang tidak terbakar dapat dikurangi dan daya yang dihasilkan juga lebih besar yang pada akhirnya akan menurunkan harga *sfc*.

#### **4.8 Analisa Efisiensi *Thermal* ( $\eta_{th}$ )**

Efisiensi *thermis* suatu motor bakar dapat didefinisikan sebagai besarnya pemanfaatan panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar menjadi kerja mekanis. Panas yang diberikan oleh bahan bakar dapat dilihat melalui besarnya konsumsi bahan bakar, sedangkan besarnya kerja mekanis dapat dilihat dari torsi motor yang dihasilkan. Sehingga harga dari efisiensi *thermis* ini akan dipengaruhi oleh perubahan torsi dari *engine* dan perubahan laju bahan bakar yang dikonsumsi oleh *engine* tersebut. Efisiensi *thermis* dipengaruhi oleh besarnya torsi yang dihasilkan oleh *engine*. Dengan bertambahnya torsi lebih besar maka membuat nilai daya dari *engine* juga semakin besar. Sementara itu, daya yang dihasilkan dari *engine* dipakai untuk penyebut dalam perhitungan efisiensi *thermal* yang dibagi dengan nilai kalor bawah (NKB) bahan bakar dikalikan dengan laju aliran bahan bakar. Maka dapat disimpulkan, semakin besar nilai daya yang dihasilkan oleh *engine* membuat nilai efisiensi *thermis* naik pula.

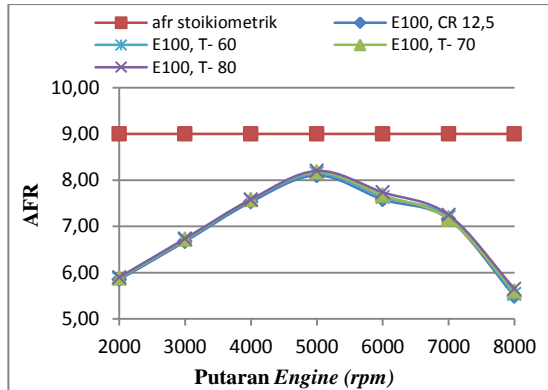


**Gambar 4.8** Grafik Efisiensi Termal vs Putaran *Engine*

Pada gambar 4.8 dengan variasi temperatur bahan bakar, didapat puncak tertinggi dari efisiensi thermis terdapat pada variasi temperatur bahan bakar 70° C di ikuti dengan temperatur 60° C, dan 80° C. Sedangkan nilai tertinggi dari efisiensi thermis terdapat pada rpm 5000.

#### 4.9 Analisa Air Fuel Ratio

Air Fuel Ratio merupakan ukuran perbandingan antara massa udara dan massa bahan bakar per satuan waktu. Dimana ukuran tersebut akan dibandingkan dengan nilai AFR teoritis. Bahan bakar yang digunakan dalam penelitian ini adalah pertamax (E0) dan bioethanol (E100) yang mempunyai AFR teoritis 9:1. Sedangkan AFR teoritis dari bahan bakar pertamax adalah 14,7:1. Bila ukuran massa udara dan massa bahan bakar per satuan waktu lebih besar dari nilai teoritisnya, maka campuran bahan bakar dan udara dikategorikan ke dalam campuran miskin (*lean*). Sebaliknya bila ukuran massa bahan bakar dan massa udara bernilai di bawah nilai AFR teoritisnya, maka campuran bahan bakar dan udara dikategorikan sebagai campuran kaya (*rich*).



**Gambar 4.9** Grafik AFR fungsi Putaran Engine

Grafik 4.9 cenderung sama, yaitu dari rpm bawah AFR cenderung naik hingga mencapai puncak pada putaran engine menengah dan akhirnya turun dengan bertambahnya putaran engine. Terlihat pada putaran 2000 hingga 3000 mesin dalam keadaan campuran kaya. Hal ini disebabkan saat mesin mengalami pembebanan yang besar, maka disertai dengan turunnya putaran mesin. Ketika putaran mesin turun maka laju aliran massa udara akan ikut turun. Pada keadaan tersebut kondisi AFR berada di campuran kaya (*rich*), dikarenakan laju aliran massa bahan bakar tetap, sedangkan laju aliran massa udara turun seiring turunnya putaran mesin. Dalam keadaan mesin standar, AFR untuk bahan bakar bioethanol (E100) cenderung berada di atas AFR bahan bakar pertamax (E0) menggunakan ECU programable.

Hal ini menguatkan hipotesa mengenai pengaruh nilai heat of vaporization dari kedua bahan bakar di atas terhadap proses pembakaran. Dengan nilai heat of vaporization bioethanol (E100) lebih besar dibanding pertamax (E0), diperkirakan menurunkan temperatur ruang bakar dan menyebabkan nilai densitas dari udara naik. Seiring dengan naiknya densitas udara, maka campuran bahan bakar dan udara dalam proses pembakaran juga



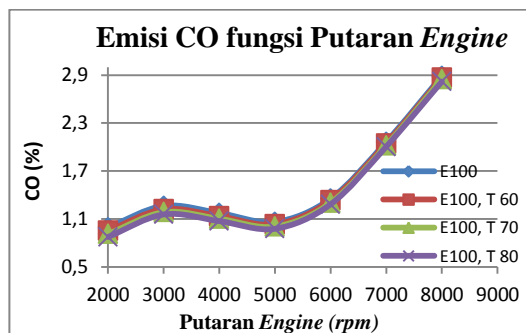
cenderung campuran miskin (lean). Sementara stoikiometri untuk bahan bakar bioetanol E100 sebesar 9:1.

Sedangkan akibat adanya pemanasan pada bahan bakar, densitas dari bahan bakar semakin menurun sehingga debit bahan bakar yang diinjeksikan juga mengalami penurunan. Hal inilah yang menyebabkan nilai dari laju aliran massa bahan bakar semakin menurun walaupun telah diatur oleh ECU. Dari penurunan laju aliran massa bahan bakar ini, tampak nilai AFR mendekati 9:1 walupun terlihat sangat kecil.

## 4.10 Analisa Emisi Gas Buang

### 4.10.1 Emisi CO

Karbon monoksida merupakan salah satu gas buang hasil pembakaran yang berbahaya bagi kesehatan dan juga berdampak buruk pada lingkungan. Emisi gas CO pada gas buang kendaraan bermotor disebabkan salah satunya karena kurang sempurnanya pembakaran di ruang bakar. Pada penelitian ini lebih difokuskan pada kurangnya waktu yang tersedia untuk menyelesaikan pembakaran. Pada saat putaran mesin rendah, maka turbulensi yang terjadi terlalu kecil untuk membentuk homogenitas campuran udara dan bahan bakar. Hal ini menyebabkan campuran tersebut menjadi campuran kaya (rich). Sedangkan pada putaran tinggi, waktu pembakaran terlalu singkat sehingga pembakaran menjadi kurang sempurna.



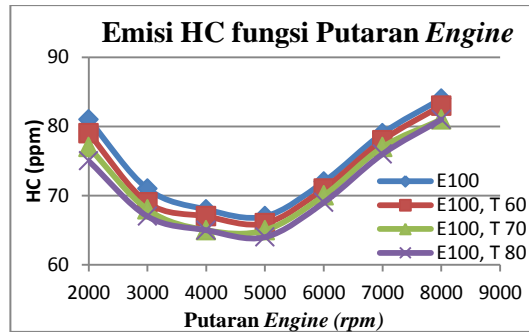
**Gambar 4.10** Grafik Emisi CO fungsi Putaran *Engine*

Pada grafik 4.10 emisi CO vs rpm di atas, didapatkan trendline yang cenderung sama untuk tiap variasi temperatur bahan bakar . Besar nilai CO cenderung naik seiring bertambahnya putaran mesin. Hal ini dikarenakan pasokan bahan bakar yang diinjeksikan pada setiap pengapian bernilai sama berdasarkan mapping injeksi optimal untuk bahan bakar bioethanol E100 yang digunakan pada engine Honda CB150R. Dengan dilakukan pemanasan bahan bakar didapatkan penurunan kadar CO pada gas sisa hasil pembakaran.

Pada putaran rendah emisi CO untuk variasi temperatur bahan bakar pada kompresi rasio 12,5 mengalami penurunan yg kecil, kemudian mengalami penurunan lebih besar pada rpm menengah. Setelah itu mengalami penurunan yang kecil saat putaran tinggi. Hal ini dikarenakan dari perlakuan pemanasan bahan bakar yang kemudian menuju ruang bakar terbakar lebih sempurna dibandingkan dari keadaan engine tanpa perlakuan pemanasan bahan bakar.

#### **4.10.2 Emisi HC**

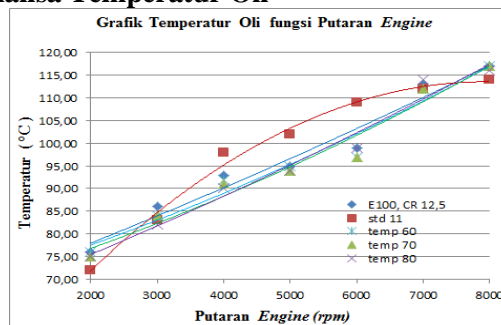
Emisi HC atau Unburned Hidrokarbon (uHC) adalah sejumlah bahan bakar yang tidak ikut terbakar selama proses pembakaran berlangsung. Secara umum kadar emisi HC akan menurun seiring meningkatnya putaran engine. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya homogenitas campuran udara dan bahan bakar seiring dengan pertambahan putaran engine. Pada putaran yang lebih tinggi, waktu pembakaran akan semakin cepat sehingga kadar bahan bakar yang belum terbakar akan semakin banyak. Untuk bahan bakar yang belum terbakar akan terbuang melalui outlet gas buang engine dan mengandung emisi HC yang keluar melalui knalpot.



**Gambar 4.11** Grafik Emisi HC fungsi Putaran *Engine*

Gambar 4.11 di atas menunjukkan emisi HC seiring bertambahnya putaran engine. Pada putaran rendah emisi Hc cenderung tinggi dan menurun seiring bertambahnya putaran engine. Setelah emisi HC berada pada titik terendah akan mengalami kenaikan hingga rpm berada pada 8000rpm. Hal ini disebabkan oleh kesamaan jumlah bahan bakar yang diinjeksikan untuk setiap perubahan derajat pengapian. Sehingga proses pembakarannya cenderung sama. Dengan perlakuan pemanasan bahan bakar, didapatkan emisi HC rata-rata semakin menurun dari emisi E100 *programmable* sampai variasi temperatur bioetanol 60° C di ikuti dengan temperatur 70° C, dan 80° C.

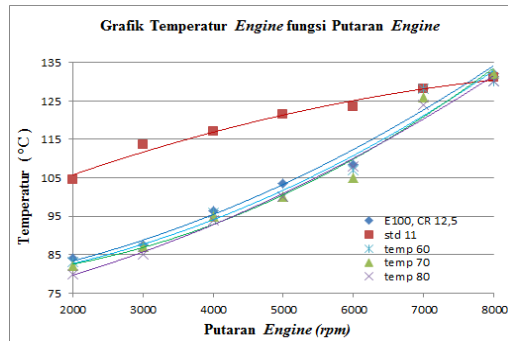
#### 4.11 Analisa Temperatur Oli



**Gambar 4.12** Grafik Temperatur oli fungsi Putaran *Engine*

Pada gambar 4.12 didapatkan bahwa nilai rata rata dari temperatur oli terhadap putaran *engine* semakin naik seiring bertambahnya rpm. Nilai rata-rata temperatur untuk tiap variasi mengalami penurunan dari variasi temperatur (60, 70, dan 80)° C seiring dengan bertambahnya rpm. Nilai rata-rata temperatur untuk tiap variasi suhu bahan bakar masih dibawah nilai dari temperatur kondisi *programable*. Penurunan ini dimungkinkan karena naiknya nilai dari efisiensi thermis.

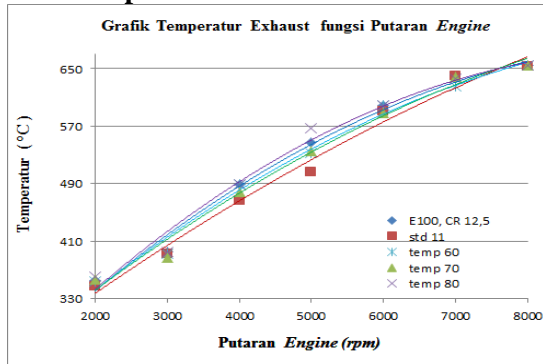
#### 4.12 Analisa Temperatur Engine



**Gambar 4.13** Grafik Temperatur *engine* fungsi Putaran *Engine*

Pada gambar 4.13 didapatkan bahwa nilai rata rata dari temperatur *engine* terhadap putaran *engine* semakin naik seiring bertambahnya rpm. Nilai rata-rata temperatur untuk tiap variasi mengalami penurunan dari variasi temperatur (60, 70, dan 80)° C seiring dengan bertambahnya rpm. Nilai rata-rata temperatur untuk tiap variasi suhu bahan bakar masih dibawah nilai dari temperatur kondisi *programable*. Penurunan ini dimungkinkan karena naiknya nilai dari efisiensi thermis.

### 4.13 Analisa Temperatur *Exhaust*



**Gambar 4.14** Grafik Temperatur *Exhaust* fungsi Putaran Engine

Pada gambar 4.14 didapatkan bahwa nilai rata rata dari temperatur *engine* terhadap putaran *engine* semakin naik seiring bertambahnya rpm. Nilai rata-rata temperatur untuk tiap variasi mengalami penurunan dari variasi temperatur (60, dan 70)° C seiring dengan bertambahnya rpm terhadap kondisi *programable*. Hanya nilai rata-rata temperatur untuk variasi suhu bahan bakar 80° C didapatkan nilai diatas dari temperatur kondisi *programable*. Menurut teori dengan adanya kenaikan efisiensi thermis seharusnya suhu temperatur *exhaust* mengalami penurunan terhadap kondisi standar tetapi suhu temperatur *exhaust* bernilai sebaliknya. Hal ini dimungkinkan karena temperatur *exhaust* teraliri udara dari blower pendingin saat pengujian.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Adapun kesimpulan yang saya dapatkan dari penelitian ini adalah :

1. Kemudahan *start* awal pada saat kondisi mesin Honda CB150R dingin adalah dapat menggunakan pemanasan pada bahan bakar bioetanol dengan suhu  $80^{\circ}\text{C}$  dengan waktu pemanasan 16,5 detik dengan daya 50 watt.
2. Pada variasi pemanasan bioetanol  $60^{\circ}\text{C}$  nilai dari torsi, daya efektif, bmep mengalami kenaikan sampai variasi pemanasan bioetanol  $70^{\circ}\text{C}$  kemudian mengalami penurunan pada variasi pemanasan  $80^{\circ}\text{C}$ . Didapatkan bahwa nilai torsi, daya efektif, dan bmep terbaik dihasilkan pada pemanasan bioetanol  $70^{\circ}\text{C}$ .
3. Sfc mengalami penurunan sebesar 4,76 %, 6,23 % dan 5,76 % pada variasi pemanasan ( $60, 70$  dan  $80^{\circ}\text{C}$ ) pada 4000 rpm terhadap kondisi *programable*.
4. Efisiensi thermis mengalami kenaikan terhadap kondisi *programable* untuk variasi pemanasan ( $60, 70$ , dan  $80^{\circ}\text{C}$ ) sebesar 0,017 %, 0,023 %, dan 0,021 % pada 4000 rpm.
5. Untuk nilai AFR pada variasi pemanasan ( $60, 70$  dan  $80^{\circ}\text{C}$ ) adalah semakin naik dari AFR pada kondisi *programable* dan mendekati AFR stoikiometri.
6. Emisi pada CO mengalami penurunan dengan nilai rata rata sebesar 1,51 % , 1,48 % , dan 1,45 % dengan variasi pemanasan ( $60, 70$  dan  $80^{\circ}\text{C}$ ). Sedangkan emisi pada HC mengalami penurunan dengan nilai rata rata sebesar 73,28 ppm, 71,85 ppm, dan 71 ppm dengan variasi pemanasan ( $60, 70$  dan  $80^{\circ}\text{C}$ ). (emisi dibandingkan dengan kondisi *programable*)

#### **5.2 Saran**

Adapun saran yang saya ajukan dari penelitian ini adalah :

1. Perlu dilakukan penelitian selanjutnya mengenai pemanasan bahan bakar, utamanya pada aliran bahan bakar setelah injektor dengan variasi putaran engine yang lebih banyak.

2. Perlu dilakukan penelitian selanjutnya mengenai variasi pemanasan bahan bakar bioetanol pada metode pengujian yang berbeda dengan menggunakan variasi bahan bakar bioethanol dengan kandungan yang berbeda.
3. Perlu dilakukan penelitian mengenai alat sistem pemanas dan penggunaan air pendingin engine untuk memanaskan bahan bakar. Untuk penyempurnaan alat sistem pemanas, terkait dengan masalah sulitnya penahanan temperatur yang terjadi pada alat sistem pemanas saat pengujian.



## DAFTAR PUSTAKA

1. Pamuji, Gayuh Agung., dan Sudarmanta, Bambang. 2016. *Studi Eksperimen Pengaruh Mapping Ignition Timing Dan Durasi Penginjeksian Bahan Bakar Terhadap Unjuk Kerja Dan Emisi Gas Buang Engine Honda CB150R Berbahan Bakar Bioetanol E100*. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Surabaya : Indonesia.
2. Dharmawan, Renno Feibianto Dwi., dan Sudarmanta, Bambang. *Studi Eksperimen Pengaruh Rasio Kompresi dan Durasi Penginjeksian Bahan Bakar Terhadap Unjuk Kerja dan Emisi Gas Buang Engine Honda CB150R Berbahan Bakar Bioetanol E100*. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Surabaya : Indonesia.
3. Sulistiyo, B., Sentanuhady, J., dan Santoso. 2009. *Pemanfaatan Etanol sebagai Octane Improver Bahan Bakar Bensin Pada Sistem Bahan Bakar Injeksi Sepeda Motor 4 Langkah 1 Silinder*. Jurnal Teknik. Vol.1, pp. 1-2. <http://staff.uny.ac.id/sites/default/files/penelitian/Bambang,Sulistyio,S.Pd.,M.Eng./BS-20090721>  
Pemanfaatan Etanol Proceeding Thermofluid 2009. 20 Februari 2016.
4. Cernati, Alexandru., Valescu, Ștefan,. 2013. *Bioethanol a Viable Alternative Fuel For S.I Engine*. Journal of Termotehnica.
5. Kuncahyono, P., Fathallah, A.Z.M., dan Semin 2013. *Analisa Prediksi Potensi Bahan Baku Biodiesel Sebagai Suplemen Bahan Bakar Motor Diesel di Indonesia*. Jurnal Teknik Pomits. Vol. 2, No. 1, pp.

62. <http://ejurnal.its.ac.id/index.php/teknik/article/download/3156/900>. 20 Februari 2016.
6. Jeuland, N., Montagne. X., dan Gaurot. 2004. ***Potentiality of Ethanol as a Fuel for Dedicated Engine***. Journal of Oil & Gas Science and Technology. Vol. 59, No. 6, pp. 560-565.
  7. Rezende, Alexandre,. Roberto, Jose,. 2012. ***Thermal Modeling of a Novel Heated Tip Injector for Otto Cycle Engines Powered by Ethanol*** . Energy and Power Engineering, 4, 85-91.
  8. S H Yoon,. S Y Ha,. H G Roh,. and C S Lee,. 2009. ***Effect of bioethanol as an alternative fuel on the emissions reduction characteristics and combustion stability in a spark ignition engine***. Department of Mechanical Engineering, Hangyang University, Sungdong-gu. Seoul : Republic of Korea.
  9. Hyun Yoo, Seung,. Lee, Chang Sik,. 2012. ***Effect of undiluted bioethanol on combustion and emissions reduction in a SI engine at various charge air conditions***. Fuel 97 887–890.
  10. Turn, Stephen R. 2000. ***An Introduction To Combustion Concepts and Applications***. McGraw-Hill. Second Edition.
  11. Biro Fasilitas Kebijakan Energi dan Persidangan. 2014. ***Outlook Energi Indonesia***. Jakarta: Dewan Energi Nasional Republik Indonesia.
  12. Sudarmanta, B., Junipitoyo, b., Putra,A.B.K., dan Sutantra 2014. ***Influence of Bioethanol–gasoline blended Fuel on Performance and Emissions Characteristics from Port Injection Sinjai Engine 650 cc***. Journal of Applied Mechanics and Materials. Vol. 493, pp. 273-274.
  13. Sales Literatur. 2016. ***Curve Emission***. Toyota Motor.

Lampiran 1

	rpm	m udara (Kg/s)	m bb (kg/s)	torsi (Nm)	daya (Kw)	bmp (Kpa)
E0, ECU Standar	2000	0,002308	0,000188	6,963	1,483	292,671
	3000	0,002826	0,000200	9,316	2,977	391,602
	4000	0,003827	0,000249	10,238	4,362	430,350
	5000	0,005160	0,000337	11,474	6,110	482,289
	6000	0,006527	0,000465	12,847	8,210	539,998
	7000	0,007825	0,000613	13,769	10,265	578,746
	8000	0,008479	0,000729	12,955	11,038	544,533

	sfc (kg/Watt.jam)	efisiensi thermal (%)	AFR	T engine (°c)	T oli (° C)	T exhaust (° C)
E0, ECU Standar	0,000455218	0,184	12,30	104,5	72	347
	0,000242443	0,346	14,10	113,5	83	393
	0,000205389	0,409	15,38	117	98	466
	0,000198642	0,422	15,30	121,5	102	506
	0,000203824	0,412	14,04	123,5	109	591
	0,000214827	0,391	12,77	128	112	640
	0,000237914	0,353	11,62	131	114	653

Lampiran 2

	rpm	$\dot{m}$ udara (Kg/s)	$\dot{m}$ bb (Kg/s)	torsi (Nm)	daya (Kw)	bmp (Kpa)
E100, ECU Programmable	2000	0,002308	0,000394	7,051	1,502	296,381
	3000	0,002826	0,000423	9,797	3,130	411,800
	4000	0,003827	0,000508	10,983	4,679	461,678
	5000	0,005160	0,000637	12,337	6,570	518,563
	6000	0,006527	0,000861	14,367	9,181	603,891
	7000	0,007825	0,001093	15,838	11,808	665,723
	8000	0,008479	0,001545	15,220	12,969	639,754

	sfc (kg/Watt.jam)	efisiensi thermal (%)	AFR	T engine (°C)	T oli (°C)	T exhaust (°C)	emisi CO (%)	emisi HC (ppm)
E100, ECU Programmable	0,000945	0,141	5,85	76	76	355	0,993	81
	0,000487	0,274	6,67	87,5	86	395	1,263	71
	0,000391	0,342	7,53	96,5	93	489	1,174	68
	0,000338	0,395	8,10	103,5	95	547	1,063	67
	0,000338	0,396	7,58	108,5	99	599	1,354	72
	0,000333	0,401	7,16	128	113	636	2,065	79
	0,000429	0,312	5,49	132	117	654	2,89	84

Lampiran 3

	rpm	$\dot{m}$ udara (Kg/s)	$\dot{m}$ bb (Kg/s)	torsi (Nm)	daya (Kw)	bmeep (Kpa)
E100, ECU Programable T- 60 ° C	2000	0,002308	0,000393	7,355	1,567	309,159
	3000	0,002826	0,000421	9,973	3,187	419,220
	4000	0,003827	0,000506	11,474	4,888	482,289
	5000	0,005160	0,000633	12,925	6,883	543,296
	6000	0,006527	0,000854	14,759	9,432	620,380
	7000	0,007825	0,001087	15,789	11,772	663,662
	8000	0,008479	0,001530	15,151	12,910	636,868

	sfc (kg/Watt.jam)	efisiensi thermal (%)	AFR	T engine (° c)	T oli (° C)	T exhaust (° C)	emisi CO (%)	emisi HC (ppm)
E100, ECU Programable T- 60 ° C	0,000903	0,148	5,87	83	76	354	0,952	79
	0,000476	0,281	6,71	87	84	392	1,221	69
	0,000372	0,359	7,57	96	92	489	1,134	67
	0,000331	0,403	8,15	100	95	533	1,033	66
	0,000326	0,410	7,64	107	97	599	1,334	71
	0,000332	0,402	7,20	128	112	626	2,045	78
	0,000427	0,313	5,54	130	117	655	2,87	83

Lampiran 4

	rpm	m udara (Kg/s)	m bb (kg/s)	torsi (Nm)	daya (Kw)	bmp (Kpa)
E100, ECU Programable T- 70 ° C	2000	0,002308	0,000392	7,384	1,573	310,396
	3000	0,002826	0,000420	10,140	3,240	426,228
	4000	0,003827	0,000505	11,631	4,955	488,884
	5000	0,005160	0,000631	13,337	7,103	560,609
	6000	0,006527	0,000850	14,857	9,495	624,502
	7000	0,007825	0,001093	15,985	11,918	671,906
	8000	0,008479	0,001514	15,200	12,952	638,929

	sfc (kg/Watt.jam)	efisiensi thermal (%)	AFR	T engine (° c)	T oli (° C)	T exhaust (° C)	emisi CO (%)	emisi HC (ppm)
E100, ECU Programable T- 70 ° C	0,000897	0,149	5,89	82	75	357	0,912	77
	0,000467	0,286	6,72	87	84	387	1,184	68
	0,000367	0,364	7,58	95	91	479	1,102	65
	0,000320	0,418	8,18	100	94	536	1,005	65
	0,000322	0,414	7,67	105	97	588	1,302	70
	0,000330	0,405	7,16	126	112	639	2,021	77
	0,000421	0,317	5,60	132	117	655	2,85	81

Lampiran 5

	rpm	m udara (Kg/s)	m bb (Kg/s)	torsi (Nm)	daya (kw)	bmp (Kpa)
E100, ECU Programmable T- 80 ° C	2000	0,002308	0,000391	7,355	1,567	309,159
	3000	0,002826	0,000419	10,140	3,259	428,701
	4000	0,003827	0,000505	11,631	4,930	486,411
	5000	0,005160	0,000629	13,337	6,789	535,876
	6000	0,006527	0,000843	14,857	9,463	622,441
	7000	0,007825	0,001079	15,985	11,699	659,540
	8000	0,008479	0,001500	15,200	12,868	634,807

	sfc (kg/Watt.jam)	efisiensi thermal (%)	AFR	T engine (° c)	T oli (° C)	T exhaust (° C)	emisi CO (%)	emisi HC (ppm)
E100, ECU Programmable T- 80 ° C	0,000899	0,149	5,90	80	75	360	0,874	75
	0,000463	0,288	6,74	85	82	395	1,156	67
	0,000368	0,363	7,58	94	90	489	1,073	65
	0,000334	0,400	8,20	100	94	567	0,977	64
	0,000321	0,416	7,74	108	99	599	1,283	69
	0,000332	0,402	7,25	124	114	636	2,005	76
	0,000420	0,318	5,65	130	116	654	2,82	81

## BIODATA PENULIS



Nama Lengkap Penulis Nicky Prayoga. Dilahirkan di Surabaya pada tanggal 31 Desember 1990. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara.

Pendidikan formal yang ditempuh penulis yakni, dimulai pada tahun 1997-2003 di SDN Lidah Kulon II Lakarsantri Surabaya. Pada tahun 2003-2006 menempuh pendidikan di SMP Negeri 4 Surabaya. Tahun 2006-2009 menempuh pendidikan di SMA Trimurti Surabaya pada Jurusan Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) dan penulis melanjutkan studi jenjang Diploma III periode 2010-2014 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Jurusan D-III Teknik Mesin Program studi Konversi Energi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya serta penulis melanjutkan studi lanjut jenjang Strata 1 periode 2014-2017 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Jurusan S1 Teknik Mesin Program studi Konversi Energi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Pengalaman organisasi penulis pernah menjadi anggota IAYP (*International Award for Young People*) periode 2008/2009. Pengalaman bekerja yakni pernah menjalani kerja praktek di PLTGU PT. PJB UP GRESIK di bagian perawatan pada tahun 2014. Selama duduk di bangku kuliah penulis aktif mengikuti kegiatan perkuliahan. Penulis juga pernah mengikuti berbagai kegiatan dan bergabung dalam organisasi. Kegiatan yang pernah diikutinya antara lain : PADII , LKMM , leadership, seminar, dan lain-lain.